

В.М.Соловйов, В.М.Сапцін

**ПРИНЦИП НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ГЕЙЗЕНБЕРГА І ЕКОНОМІЧНІ КРИЗИ**

*Проведено методологічний і філософський аналіз фундаментальних фізичних понять та їх формальних і неформальних зв'язків з реальними економічними вимірюваннями. Запропоновані процедури визначення неоднорідного економічного часу, нормалізованих економічних координат та економічної маси, засновані на аналізі часових рядів, введено поняття економічної сталої Планка. Теорія апробована на реальних рядах економічної динаміки, включаючи фондові індекси, що містять кризові періоди. Показано, що ефективна маса часового ряду універсальним чином знижується в докризовий період, що може служити індикатором-передвісником кризового явища.*

**Ключові слова:** схильність до помилок, рефлексивність, квантова екофізика, принцип невизначеності, ряди економічної динаміки, економічна маса, фінансова криза.

**1. Вступ**

Нестабільність глобальних фінансових систем щодо звичайних і природних збурень сучасного ринку та наявність погано передбачуваних фінансових криз свідчать в першу чергу про кризу 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. Однак очевидно, що їх схильність до помилок вносить елемент невизначеності в будь-які соціально-економічні дії. Подібне не відбувається в області природних явищ. І цю різницю Дж. Сорос пропонує враховувати, вводячи концепцію рефлексивності [1]. Якщо поділ між сукупністю тверджень і сукупністю фактів призводить до зміненого сприйняття реальності, це має відбиватися (рефлексувати) і на сукупності фактів. Такий зв'язок і повинна виражати концепція рефлексивності. Іншими словами, рефлексивність є двостороннім механізмом зворотного зв'язку, що впливає не тільки на твердження (оцінюючи їх істинність), але й на факти (вводячи в хід подій елемент невизначеності). Глобальна криза 2008 року на думку Сороса підтвердила його парадигму: рефлексивність фінансових ринків породила невизначеність, не піддається кількісній оцінці і привела до подій, які неможливо завчасно прорахувати [2].

В роботах [3-5] ми запропонували нову парадигму моделювання складних систем, засновану на ідеях і уявленнях квантової, в тому числі і релятивістської, механіки. Було показано, що використання при описі соціально-економічних процесів квантово-механічних аналогій, включаючи принцип невизначеності, поняття оператора і квантову інтерпретацію вимірювальних процедур, має великі перспективи, враховуючи дискусії, які носять перманентний характер [6]. Цікавим і перспективним також є міждисциплінарний підхід, який поєднує теорію складних мультиплексних мереж (включаючи квантові). Вивчення взаємодії їх структури і динаміки відкриває нові можливості побудови ефективних моделей складних систем (як природних, так і штучних): від роботи мозку до квантової теорії гравітації [7].

Метою даного дослідження є аналіз фундаментальних фізичних понять і констант з точки зору досягнень сучасної теоретичної фізики, пошук адекватних їм і корисних аналогів в соціально-економічних явищах і процесах, а також їх використання для можливого раннього попередження небажаних кризових явищ на фінансових ринках.

## 2. Про природу і взаємозв'язки основних фізичних понять

До вихідних, строго не визначених фізичних понять зазвичай відносять час, відстань і масу, вважаючи, що шляхом тих чи інших процедур вимірювання їм можуть бути поставлені у відповідність певні числові значення. У такому разі інші фізичні величини, наприклад, швидкість, прискорення, імпульс, сила і та ін., можуть бути виражені і визначені через три зазначені вище основні поняття з використанням відповідних фізичних законів [8].

Підкреслимо, що без базових фізичних понять не обходиться жодна сучасна фізична теорія, включаючи релятивістську і квантову фізику. Проте ми хотіли б звернути увагу на наступне.

Як показав Ейнштейн в загальній теорії відносності, наявність неоднорідно розподілених мас призводить до викривлення 4-мірного простору-часу, в результаті чого «декартові» координати простору Мінковського  $(x, y, z, ict)$ , ( $i = \sqrt{-1}$  – уявна одиниця,  $c$  – швидкість світла у вакуумі,  $t$  – час), стають криволінійними [8]. Таким чином існування мас у нашому світі може бути описано і геометричною мовою.

Якщо від глобальних макроявищ перейти до мікросвіту, де діють закони квантової фізики, то ми приходимо до того ж самого висновку про пріоритетну роль просторово-часових координат у визначенні всіх інших фізичних величин, включаючи масу.

Скористаємося відомим співвідношенням невизначеності Гейзенберга, яке є фундаментальним наслідком аксіом нерелятивістської квантової механіки і має вигляд (див., наприклад, [9]):

$$\Delta x \cdot \Delta v \geq \hbar / 2m_0, \quad (1)$$

де  $\Delta x$  і  $\Delta v$  – середньоквадратичні відхилення координати  $x$  і швидкості  $v$  частинки з масою (спкою)  $m_0$ ,  $\hbar$  – постійна Планка. Вважаючи можливими вимірювання величин  $\Delta x$  і  $\Delta v$  в умовах, коли їх добуток досягає мінімуму, з (1) отримуємо:

$$m_0 = \hbar / (2 \cdot \Delta x \cdot \Delta v), \quad (2)$$

тобто маса частки виражається через невизначеності її координати і її швидкості – похідною за часом від тієї ж координати.

## 3. Динамічні особливості економічних вимірів, економічний аналог співвідношення невизначеностей Гейзенберга

Характерною рисою основних фізичних законів є те, що для їх опису у формулах використовуються константи, котрі як і самі закони, залишаються незмінними протягом принаймні останніх  $\sim 10^{11}$  років. До таких констант відносяться гравітаційна постійна, швидкість поширення світла у вакуумі, постійна Планка.

Якщо говорити про економічні закони, що в принципі засновані на результатах динамічних вимірювань, як фізичного (наприклад, кількості тих чи інших матеріальних ресурсів), так і економічного (наприклад, тарифи) характеру, то тут ситуація дещо інша. Адекватність формалізмів, що використовуються для їх математичного опису повинна піддаватися постійній перевірці та необхідній корекції. Це пов'язано з тим, що вимірювання – це завжди порівняння з чимось, прийнятим за еталон, проте в економіці постійних еталонів не існує в принципі. Таким чином, економічні виміри в своїй першооснові відносні і мають локальний у часі, просторі та інших соціально-економічних координатах характер.

Саме з цих причин важливе значення для оцінки стану, тенденцій та перспектив розвитку економік (глобальних, регіональних, національних) має аналіз часових рядів, що породжуються динамікою фондових індексів, курсів валют, цін на спотових ринках.

Нехай існує сукупність з  $M$  часових рядів довжиною  $N$  відліків кожен, що

стосуються одного і того ж проміжку часу  $T$ , з однаковим мінімальним кроком часу  $\Delta t_{\min}$ :

$$X_i(t_n), t_n = \Delta t_{\min} n; n = 0, 1, 2, \dots, N-1; i = 1, 2, \dots, M. \quad (3)$$

Щоб привести всі ряди до безрозмірного і однакового (з точністю до адитивної постійної) подання, нормалізуємо їх:

$$x_i(t_n) = \ln X_i(t_n), t_n = \Delta t_{\min} n; n = 0, 1, 2, \dots, N-1; i = 1, 2, \dots, M. \quad (4)$$

Будемо вважати, що кожен новий ряд  $x_i(t_n)$  представляє собою одномірну траєкторію деякої фіктивної частинки з номером  $i$ , координата якої реєструється через кожний проміжок часу  $\Delta t_{\min}$ , і оцінимо середньоквадратичні відхилення її координати та швидкості на деякому часовому вікні  $\Delta T$ :

$$\Delta T = \Delta N \cdot \Delta t_{\min} = \Delta N, \quad 1 \ll \Delta N \ll N. \quad (5)$$

«Миттєва» швидкість  $i$ -ої частки в момент часу  $t_n$  визначається співвідношенням:

$$v_i(t_n) = \frac{x_i(t_{n+1}) - x_i(t_n)}{\Delta t_{\min}} = \frac{1}{\Delta t_{\min}} \ln \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)}, \quad (6)$$

її дисперсія  $D_{v_i}$ :

$$D_{v_i} = \frac{1}{(\Delta t_{\min})^2} \left( \left\langle \ln^2 \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} \right\rangle_{n, \Delta N} - \left( \left\langle \ln \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} \right\rangle_{n, \Delta N} \right)^2 \right), \quad (7)$$

а середньоквадратичне відхилення  $\Delta v_i$ :

$$\Delta v_i = \sqrt{D_{v_i}} = \frac{1}{(\Delta t_{\min})} \left( \left\langle \ln^2 \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} \right\rangle_{n, \Delta N} - \left( \left\langle \ln \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} \right\rangle_{n, \Delta N} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (8)$$

де  $\langle \dots \rangle_{n, \Delta N}$  означає середнє значення для часового вікна довжиною  $\Delta T = \Delta N \cdot \Delta t_{\min}$ .

В якості оцінки дисперсії координати  $i$ -ої частки використовуємо дисперсію  $D_{\Delta x_i}$  випадкової величини  $\ln(X_i(t_{n+1})/X_i(t_n))$ :

$$\left\langle \ln^2 \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} \right\rangle_{n, \Delta N} - \left( \left\langle \ln \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} \right\rangle_{n, \Delta N} \right)^2. \quad (9)$$

Тоді для середньоквадратичного відхилення  $\Delta x_i$  з урахуванням (9) отримуємо:

$$\Delta x_i = \sqrt{D_{\Delta x_i}} = \left( \left\langle \ln^2 \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} \right\rangle_{n, \Delta N} - \left( \left\langle \ln \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} \right\rangle_{n, \Delta N} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (10)$$

За аналогією з (1) для траєкторії фіктивної частинки можна записати співвідношення невизначеностей у вигляді:

$$\Delta x_i \cdot \Delta v_i \sim h / m_i, \quad (11)$$

або, з урахуванням (7) та (10):

$$\frac{1}{\Delta t_{\min}} \left( \left\langle \ln^2 \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} \right\rangle_{n, \Delta N} - \left( \left\langle \ln \frac{X_i(t_{n+1})}{X_i(t_n)} \right\rangle_{n, \Delta N} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \sim \frac{h}{m_i}, \quad (12)$$

де  $m_i$  – економічна «маса»  $i$ -го ряду,  $h$  – величина, що є аналогом економічної «постійної» Планка.

На відміну від фізичної постійної Планка  $\hbar$ , величина  $h$ , взагалі кажучи, може залежати від історичного періоду часу, для якого взяті ряди, положення і величини інтервалу усереднення (економічні процеси по різному протікають під час кризи та

рецесії), від номера ряду  $i$  та ін.

Узагальнимо співвідношення (12) на випадок, якщо економічні виміри на інтервалі часу  $T$ , в результаті яких були отримані ряди (4), проведені з кроком  $\Delta t = k \cdot \Delta t_{\min}$ , де  $k \geq 1$  – деяке задане ціле позитивне число. З формальної точки зору це означало б, що у вихідних рядах (4) викинуті всі члени, за винятком членів з номерами  $n=0, k, 2k, 3k, \dots$ . У результаті співвідношення (12) перетворюється до виду:

$$\frac{1}{k\Delta t_{\min}} \left( \left\langle \ln^2 \frac{X_i(t_{n+k})}{X_i(t_n)} \right\rangle_{n,\Delta N} - \left( \left\langle \ln \frac{X_i(t_{n+k})}{X_i(t_n)} \right\rangle_{n,\Delta N} \right)^2 \right) \sim \frac{h}{m_i} \quad (13)$$

і містить залежність від  $k$ .

Як у випадку реальної фізичної частинки, так і для її формального економічного аналогу, будь-який вимір впливає на результат. Тому статистичні властивості «розріджених» рядів, на основі яких і було отримано співвідношення (13), повинні залежати від того, чи проводилися реальні виміри в проміжних точках.

Таким чином, узагальнюючи все вище сказане, ми повинні вважати відношення  $h/m_i$  в правій частині (13) певною невідомою функцією номера ряду  $i$ , розміру вікна усереднення  $\Delta N$ , часу  $\bar{n}$  (центру вікна усереднення) та кроку часу спостереження (реєстрації)  $k$ .

Щоб отримати для цієї функції хоча б і наближений вираз, але такий, що явно обчислюється, і простежити характер залежностей, постулюємо для правої частини (13) наступний модельний вигляд:

$$\frac{h}{m_i} \cong \frac{\tau(\bar{n}, \Delta N_{\tau}) \cdot H_i(k, \bar{n}, \Delta N_H)}{\Delta t_{\min} \cdot m_i}, \quad (14)$$

де  $m_i$  – безрозмірна економічна маса  $i$ -го ряду,

$$m_i^{-1} = \langle \varphi_i(n, 1) \rangle_{(0 \leq n \leq N-2)}, \quad (15)$$

$$\tau(\bar{n}) = \frac{\langle \phi_i(n, 1, \Delta N_{\tau}) \rangle_{(\bar{n} - \Delta N_{\tau}/2 < n < \bar{n} + \Delta N_{\tau}/2), (1 \leq i \leq M)}}{\langle \langle \phi_i(n, 1, \Delta N_H) \rangle_{(\bar{n} - \Delta N_H/2 < n < \bar{n} + \Delta N_H/2), (1 \leq i \leq M)} \rangle_{\bar{n}}}, \quad (16)$$

– локальний коефіцієнт стиснення ( $\tau(\bar{n}) < 1$ ) або розтягування ( $\tau(\bar{n}) > 1$ ) фізичного часу, що дозволяє ввести поняття неоднорідного економічного часу (для однорідного випадку  $\tau(\bar{n}) = 1$ ),

$$H_i(k, \bar{n}) = \frac{\langle \phi_i(n, k, \Delta N_H) \rangle_{(\bar{n} - \Delta N_H/2 < n < \bar{n} + \Delta N_H/2)}}{\langle \phi_i(n, 1, \Delta N_H) \rangle_{(\bar{n} - \Delta N_H/2 < n < \bar{n} + \Delta N_H/2)}}, \quad (17)$$

– безрозмірний коефіцієнт порядку одиниці, що вказує, для заданих  $i$  і  $\bar{n}$ , на відмінності в залежності дисперсії  $D_{\Delta x_i}$  (див. (9) з урахуванням випадку  $k \geq 1$ ) від закону  $D_{\Delta x_i} \sim k$ ,

$$\phi_i(n, k, \tilde{N}) = \frac{1}{k} \left( \ln^2 \frac{X_i(t_{n+k})}{X_i(t_n)} - \left( \left\langle \ln \frac{X_i(t_{n+k})}{X_i(t_n)} \right\rangle_{n, \tilde{N}} \right)^2 \right) \quad (18)$$

(в останній формулі індекс  $\tilde{N} = N$ ,  $\Delta N_{\tau}$ ,  $\Delta N_H$  вказує на параметри по  $n$  відповідно до формул (15-17)), вікна усереднення  $\Delta N_{\tau}$ ,  $\Delta N_H$  вибираються з урахуванням умов:

$$k_{\max} < \Delta N_{\tau} < \Delta N_H < N. \quad (19)$$

Відповідно до визначень (16, 17) для коефіцієнтів  $\tau(\bar{n})$  і  $H_i(k, \bar{n})$  мають місце

умови нормування:

$$\langle \tau(\bar{n}) \rangle_{\bar{n}, N} = 1; H_i(1, \bar{n}) = 1, \quad (20)$$

а множник  $1/\Delta t_{\min}$  у правій частині (14) можна розглядати як інваріантну складову економічної постійної Планка  $h$ :

$$\bar{h} = 1/\Delta t_{\min}, \quad (21)$$

Як видно, величина  $\bar{h}$  має природну розмірність зворотного часу.

Зазначимо також, що можна ввести середню економічну масу всієї сукупності рядів (або будь-якої виділеної групи рядів) за формулою:

$$m^{-1} = M^{-1} \sum_{i=1}^M m_i^{-1}. \quad (22)$$

Отримані на базі рядів (3) співвідношення (4, 13-21) допускають і інші варіанти інтерпретації.

#### 4. Експериментальні результати та їх обговорення

Для апробації запропонованого підходу були вибрані спеціально підготовлені дві групи часових рядів щоденних значень індексів відомих фондових ринків [10]. До першої групи входять часові ряди, які включають індекс Доу-Джонса (djia) за більш ніж 100-літній період та фрагменти цього ж індексу, що містять найбільш потужні фінансові кризи 1929, 1987 і 2008 рр.. Довжина фрагментів однакова – 2000 точок, при цьому власне пік кризи (точка, з якої починається стрімке падіння фондового індексу) приходить на середину ряду – 1000-ну точку. 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. До другої групи входять індекси понад 30-ти фондових ринків світу [10].

На рис. 1а наведено динаміку нормалізованих значень фрагментів індексу Доу-Джонса для найвідоміших криз, а на рис. 1б відповідні залежності економічної маси  $m$ .

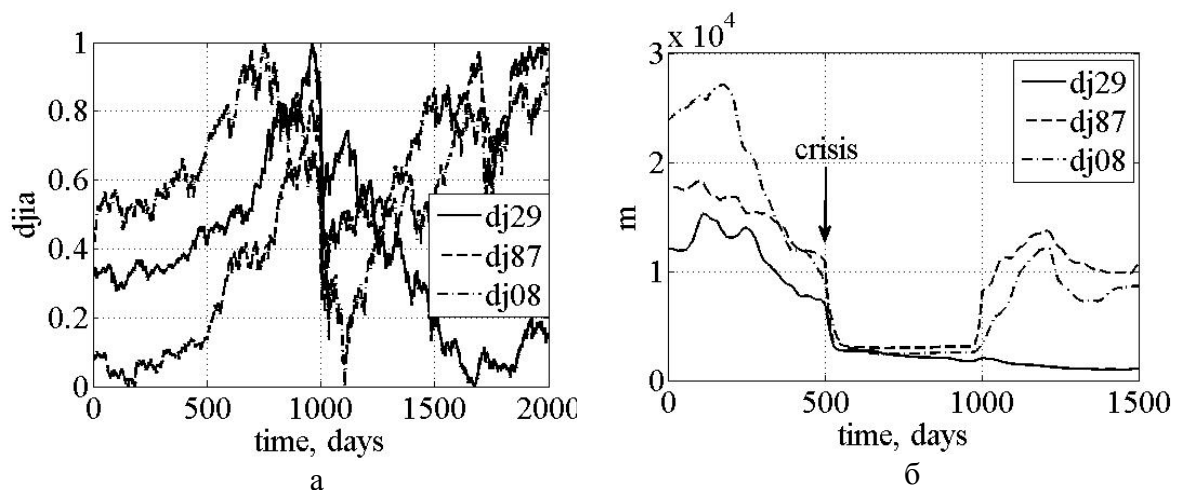


Рис. 1. Динаміка індексу Доу-Джонса djia а – та економічної маси  $m$  б – для найбільш потужних криз на фондовому ринку 1929 (dj29), 1987 (dj87) та 2008 (dj08)рр.

Розрахунки економічної маси проводились у рамках алгоритму ковзного вікна: величина маси розраховувалась для підряду певної довжини (вікна), наприклад, 500 точок (приблизно 2 роки), потім зміщувалось з певним кроком пропорційним  $\Delta t_{\min}$  і

процедура продовжувалась до вичерпання часового ряду. З рис. 1б видно, що у докризовий і власне кризовий періоди маса помітно зменшується, відновлюючись у післякризовий період. При цьому її поведінка універсальна для криз різної природи. Для кризи 1929 р. післякризового відновлення не спостерігається оскільки ця криза тривала понад шість років (Велика Депресія).

Цікаво тепер співставити динаміку вихідного часового ряду з розрахованим показником – в нашому випадку з економічною масою. Якщо в період кризи вибраний показник поводить себе характерним чином, наприклад, зростає чи спадає, то його можливо використовувати для ідентифікації або попередження кризи. На рис. 2а для порівняння наведено динаміку індексу Доу-Джонса під час кризи 2008 р. і відповідної економічної маси  $m$ . Видно випереджальний характер зменшення маси ще до настання кризи. Аналогічна картина спостерігається і для інших кризових станів. На рис. 2б таке співставлення часового ряду і відповідної маси проведено для індексу Доу-Джонса з 02.01.1900 по 31.12.2015 рр. (всього 29030 значень). Відмічено додатково до вже згаданих криз також найбільш помітні кризи 1914, 1946, 1962, 1973 та 2001 рр. При цьому найменшим значенням мас відповідають найбільші кризи.

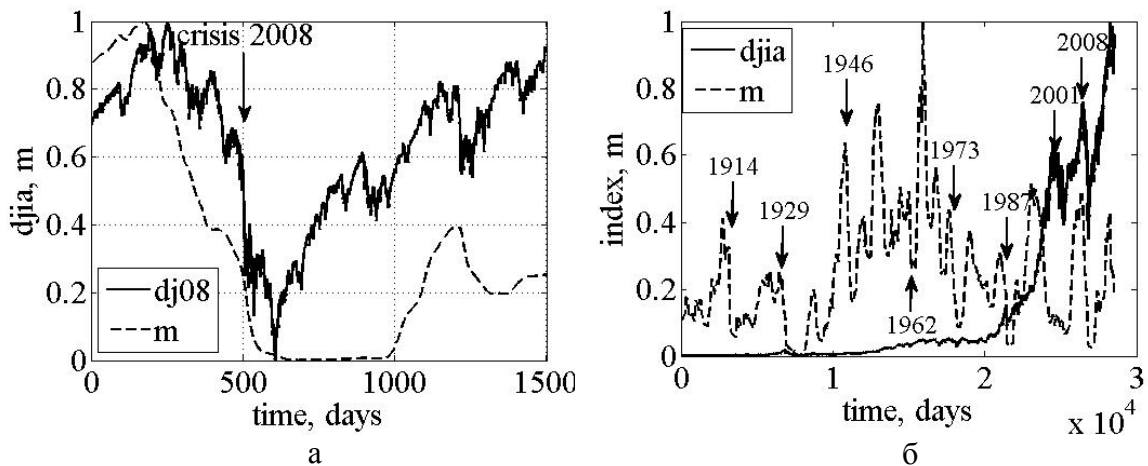


Рис. 2. Порівняльна динаміка нормалізованих часових рядів індексів Доу-Джонса та відповідних економічних мас.

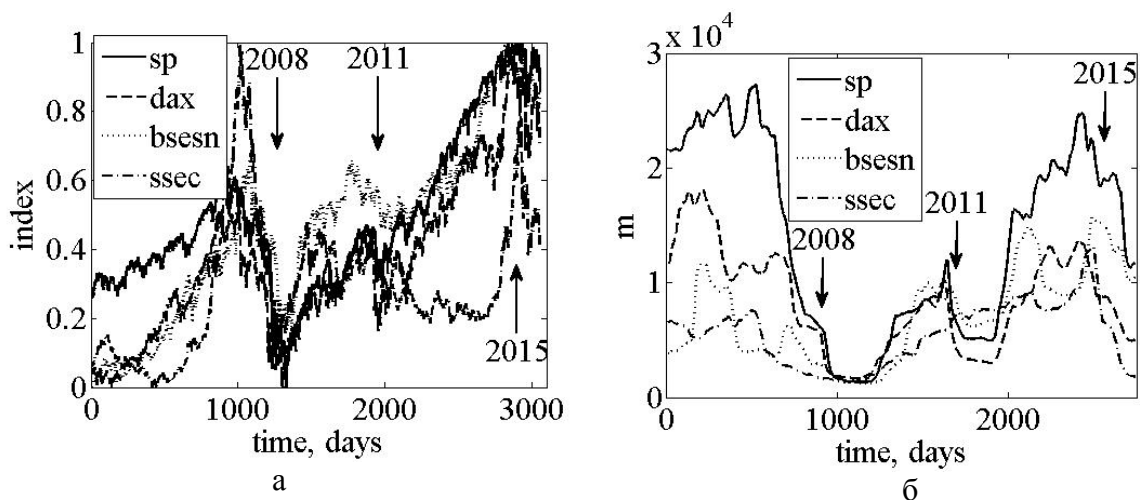


Рис. 3. Типова динаміка фондових індексів за період з 2004 по 2015 рр. (а) та відповідних економічних мас (б).

Дослідимо, чи є вказане зменшення маси в період кризи універсальним не тільки для різних криз на одному ринку (американському за індексом Доу-Джонса), а і за індексами фондових ринків країн інших регіонів світу. Для прикладу на рисунку 3 наведені результати розрахунків для наступних індексів: sp (повна назва s&p500) – популярного індексу «широкого» (враховує 500 компаній для розрахунку) ринку США, dax (deutscher aktienindex) – основного фондового індексу Німеччини, bsesn (s&p bse sensex) – Індії, ssec (sse composit index) - континентального Китаю.

Стрілками вказані останні три кризи: глобальна світова 2008-2009 рр., боргова криза 2011 р. та китайська криза, яка почалася в червні 2015 р. та продовжилася двома хвилями: у кінці вересня та грудня. Очевидно, що для глобальної кризи 2008-2009 рр. величина мас практично не залежить від індексу і має найменше значення на всьому проміжку спостереження. Боргова криза відчутно вразила країни Європи. Тому найменшу масу має індекс dax. Нарешті, індекс китайського ринку характеризується найменшою з мас в період поточної кризи 2015 р. Аналогічні результати отримано і для інших індексів другої групи часових рядів обраної бази даних.

### **Висновки**

Проведено методологічний і філософський аналіз фундаментальних фізичних понять і їх формальних і неформальних зв'язків з реальними економічними вимірами. Використано базові уявлення загальної теорії відносності та релятивістської квантової механіки про властивості простору-часу та особливості фізичних вимірювань. Запропоновано процедури визначення нормалізованих економічних координат, економічної маси і неоднорідного економічного часу. Процедури засновані на аналізі часових рядів, що описують соціально-економічні процеси, і економічної інтерпретації принципу невизначеності Гейзенберга, введено поняття економічної постійної Планка. Теорія апробована на реальних рядах економічної динаміки, які включають відомі кризи. Показано, що індикатором кризових явищ може слугувати економічна маса часового ряду. По-перше, чим меншою є маса, тим відчутнішою є криза. По-друге, зменшення маси випереджає падіння фондового індексу, що дозволяє використати цей факт у якості індикатора-передвісника кризи, що насувається.

### **Список використаної літератури**

1. Сорос Д. Мировой экономический кризис и его значение. Новая парадигма финансовых рынков / Д. Сорос; пер. с англ. К. Вагнера. – М. : Манн, Иванов и Фарбер, 2010. – 272 с.
2. Soros G. Fallibility, reflexivity, and the human uncertainty principle / G. Soros // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.georgesoros.com/essays/fallibility-reflexivity-and-the-human-uncertainty-principle-2>.
3. Soloviev V. Quantum econophysics – problems and new conceptions / V. Soloviev, V. Saptsin, I. Stratiychuk // Вісник КНУТД. – 2012, № 5. – С.243-248.
4. Сапцин В. М. Релятивистская квантовая эконофизика. Новые парадигмы моделирования сложных систем: Монография / В. М. Сапцин, В. Н. Соловьев. – Черкассы: Брама-Украина, 2009. – 64с.
5. Saptsin V. Relativistic quantum econophysics – new paradigms in complex systems modelling / V. Saptsin, V. Soloviev // [Электронный ресурс] arXiv:0907.1142v1 [physics.soc-ph] 7 Jul 2009.
6. Ozawa M. Heisenberg original derivation of the uncertainty principle and its universally valid reformulations / M. Ozawa // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://arXiv:1507.02010> [quant-ph].

7. Bianconi G. Interdisciplinary and physics challenges in network theory / G. Bianconi // *Europhysics Letters*. – 2015. – Vol. 11, № 5. – P.1-7.
8. Sapsin V. M. Heisenberg uncertainty principle and economic analogues of basic physical quantities. / V. M. Sapsin, V. M. Soloviev // *Computer Modelling and New Technologies*. – 2011. – Vol. 15, № 3. – P.21-26.
9. Ландау Л. Д. Теория поля / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц // – М : Наука, 1973. – 504 с.
10. Индекси фондових ринків / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://finance.yahoo.com>
11. Danilchuk G. Dynamics of graph spectral entropy in financial crisis / G. Danilchuk, V. Soloviev // *Socio-economic aspects of economics and management*. - Taunton, MA, USA. – 2015. – Vol. 2. – P. 227-234.

### References

1. Soros, G. (2009). *The new paradigm for financial markets: the credit crisis of 2008 and what it means*. NY.: PublicAffairs.
2. Soros, G. (2014) *Fallibility, reflexivity, and the human uncertainty principle*. Retrieved from: <http://www.georgesoros.com/essays/fallibility-reflexivity-and-the-human-uncertainty-principle-2>.
3. Soloviev, V., Sapsin V., & Stratiychuk I. (2012). Quantum econophysics – problems and new conceptions. *Visnyk KNUTD*, 5. – P.243-248.
4. Sapsin V., & Soloviev, V. (2009). *Relativistic quantum econophysics – new paradigms in complex systems modelling*. Cherkasy: Brama-Ukraine (in Rus).
5. Sapsin, V.N., & Soloviev V.N. (2009) *Relativistic quantum econophysics – new paradigms in complex systems modelling*. Retrieved from: arXiv:0907.1142v1 [physics.soc-ph] 7 Jul 2009.
6. Ozawa, M. (2015) *Heisenberg original derivation of the uncertainty principle and its universally valid reformulations*. Retrieved from: <http://arXiv:1507.02010> [quant-ph].
7. Bianconi, G. (2015) Interdisciplinary and physics challenges in network theory. *Europhysics Letters*, 11(5), 1-7.
8. Sapsin, V.N., & Soloviev V.N. (2011) Heisenberg uncertainty principle and economic analogues of basic physical quantities. *Computer Modelling and New Technologies*, 15(3), 21-26.
9. Landau, L. D., & Lifshitz E. M. *Field theory* (1973). Moscow: Nauka (in Rus.).
10. Retrieved from: <http://finance.yahoo.com>
11. Danilchuk, G.B., & Soloviev V.N. (2015). Dynamics of graph spectral entropy in financial crisis. *Socio-economic aspects of economics and management*, 2, 227-234.

**Summary.** *V.N. Soloviev, V.M. Sapsin. Heisenberg uncertainty principle and economic crises. Approaching physics as the way to predict the results of experiments is good enough for physics as it is. However the transition of its notions and mathematical apparatus to systems of different nature requires obligatory in-depth analysis of its initial concepts. Econophysics is a young interdisciplinary scientific field, which developed and acquired its name at the end of the last century. Quantum econophysics, a direction distinguished by the use of mathematical apparatus of quantum mechanics as well as its fundamental conceptual ideas and relativistic aspects, developed within its boundaries just a couple of years later, in the first decade of the 21-st century. In this paper from quantum econophysics positions, attained by modern theoretical physics in understanding of the universe bases, the methodological and philosophical analysis of fundamental physical concepts and their formal and informal connections with the real economic measurings is carried out. The possibility of*



*introducing economic equivalents of physical quantities in order to describe socio-economic processes using the quantum uncertainty principle is shown. Procedures for heterogeneous economic time determination, normalized economic coordinates and economic mass are offered, based on the analysis of time series, the concept of economic Plank's constant is proposed. A theory is approved on the real economic dynamic's time series, including crises stock market indices. It is shown that the effective mass of the time series universally decreases before the crisis period, which may be an indicator of the crisis phenomena.*

**Keywords:** fallibility reflexivity, quantum econophysics, uncertainty principle, economic dynamics time series, economic mass.

Одержано редакцією 20.10.2015

Прийнято до друку 10.11.2015

УДК 538.91, 538.95

PACS 44.05.+e, 44.10.+i, 44.35.+c, 02.60.Cb, 02.70.Bf

**В. М. Безпальчук, Т. В. Запорожець, М. В. Кравчук,  
А. І. Устінов, А. М. Гусак**

## **РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВИХ ПОЛІВ У БАГАТОФАЗНІЙ ТРИВИМІРНІЙ СИСТЕМІ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНИХ УМОВАХ ЇЇ НАГРІВАННЯ**

*У роботі представлена математична модель та розрахункові схеми визначення зміни температури в процесі з'єднання пластин, шляхом паяння при нестационарних умовах нагрівання зони з'єднання нагрівачем, що контактує з однією з пластин. Розрахунок теплових потоків проводиться з урахуванням кінцевого розміру пластин, характеристик матеріалу, з якого вони виготовлені, характеристик припою і наявності теплових опорів в зоні контактів. Представлено програмне забезпечення, створене на основі виведених чисельних схем, дозволяє спостерігати процеси нагріву та передачі тепла під час паяння пластин. Це дає можливість визначити умови необхідні для реалізації процесу паяння за допомогою автономного джерела тепла в залежності від характеристик матеріалів та їх розміру.*

**Ключові слова:** паяння, плавлення, теплопровідність, кінцево-різницевий метод, тепловий опір.

### **1. Вступ**

Пошук нових способів отримання нероз'ємних з'єднань в умовах відсутності потужних джерел тепла є актуальною задачею пов'язаною з проведенням ремонтних робіт, монтажу обладнання і таке інше. При вирішенні цієї задачі, наприклад, шляхом паяння необхідно забезпечити нагрівання зони з'єднання, в якій знаходиться припій, до температури його плавлення. Традиційно це досягають шляхом розміщення деталей в печі, де вони нагріваються до необхідної температури, або безпосередньо за рахунок