

Т. Кравець, канд. фіз.-мат. наук, доц. (КНУ імені Тараса Шевченка),
А. Ситенко, студ. (КНУ імені Тараса Шевченка)

ВЕЙВЛЕТ – АНАЛІЗ ФОНДОВИХ ІНДЕКСІВ УКРАЇНИ ТА ПОЛЬЩІ В ПЕРІОДИ КРИЗИ ТА РЕЛАКСАЦІЇ

Досліджено локальні особливості кризових явищ 2008-2009 років на основі порівняльного аналізу фондових індексів України та Польщі.

Ключові слова: економічна криза, дискретне та неперервне вейвлет-перетворення, мультифрактальність.

Исследованы локальные особенности кризисных явлений 2008-2009 годов на основе сравнительного анализа фондовых индексов Украины и Польши.

Ключевые слова: экономический кризис, дискретное и непрерывное вейвлет-преобразование, мультифрактальность.

The article is devoted to the research of local market peculiarities in 2008-2009 based on the comparison analysis of the Ukrainian and Polish stock indexes.

Keywords: economic crisis, the discrete and continuous wavelet transform, the multifractal analysis.

Аналіз фінансових криз 90-х років ХХ-го сторіччя свідчить, що динаміка розгортання кризових явищ в структурно відмінних макроекономічних системах має певні спільні риси. Як правило, вони характеризуються універсальними механізмами виникнення та розгортання системної нестійкості.

Світова фінансова криза 2008-го р. проявилася у вересні – жовтні 2008 року у формі різкого погіршення основних економічних показників у більшості розвинених країн. Основною причиною кризи вважають кредитну експансію 2000-х років, що стимулювала інфляцію та значно підвищила ціни на сировину, викликала масове вилучення грошей з реального сектору та їх спрямування на спекулятивні цілі.

Передвісником фінансової кризи 2008-2009 рр. стала іпотечна криза в США, перші ознаки якої з'явилися ще в 2006 р., а на початку 2007 року переросли у кризу високо ризикових іпотечних кредитів. У 2008 р. криза набула світового характеру та супроводжувалася різким зниженням обсягів виробництва, споживчого попиту, цін на сировину та зростанням рівня безробіття. Фактично зникли межі між приватним і державним боргами. Якщо приватний сектор зазнає втрат, відсутність державної підтримки може спричинити глибоку рецесію, у протилежному випадку спад все одно відбудеться, проте за рахунок втрат держави від скорочення податкових ставок та збільшення видатків для стимулювання економіки.

Питання про другу хвилю глобальної кризи залишається актуальним, бо ситуація у фінансовій частині світової економіки не тільки не поліпшується, а навпаки, за деякими напрямками продовжує погіршуватися. Є підстави вважати, що ці проблеми є наслідком поверхневості та недостатності заявлених реформ. При цьому спостерігається прагнення виправити підвалини економік, що похитнулися, без використання кардинальних заходів.

Глобальний характер світової кризи мав певні локальні особливості на рівні національних економік. Дослідження цих особливостей дозволяє оцінити стійкість економічних систем до екзогенних шоків та здатність швидкого відновлення після виходу з кризи. Віддзеркаленням системних проблем економік є поведінка фондових ринків, яка виражається в суттєвій нелінійності та нестаціонарності динамічних рядів фондових індексів.

Ефективне моделювання таких часових рядів передбачає застосування сучасних методів нелінійної динаміки, в тому числі й техніку вейвлет-перетворення сигналів складної структури. Вейвлетні функції представляють собою локалізовані в часі компактні хвилі, коефіцієнти розвинення за якими зберігають інформацію про дрейф параметрів апроксимованої функції.

Вагомий внесок у теорію вейвлетів внесли P. Goupillaud, J. Morlet, I. Daubechies, які започаткували основи неперервного та дискретного вейвлет-

перетворень. Засоби вейвлет-аналізу при дослідженні властивостей фінансових ринків використовували E. Capobianco, V. Fernandez, R. Gené saı, H. Lee та J. Ramsey. Серед російських і вітчизняних вчених застосуванням вейвлет-аналізу до економічних досліджень займалися Астаф'єва Н.М., Субботін О.В., Воробйов В.І., Дербенцев В.Д., Сердюк О.А., Соловійов В.М.

Метою дослідження є аналіз фондових ринків України та Польщі, заснований на декомпозиції часових рядів фондових індексів з метою локалізації та опису кризових явищ за часом і масштабами.

Методи дослідження: неперервне та дискретне вейвлет-перетворення, фрактальний аналіз та ентропійні методи.

Проведемо порівняльний аналіз реформування економік України та Польщі за період 2007-2011 рр. До 2008 року економіка України ще не вийшла на рівень радянського періоду. ВВП України в передкризовому 2007 році склав лише 72,2% від рівня 1990 року. Головними ж наслідками економічної кризи 2008-2009 рр. для України стали девальвація гривні по відношенню до долара США (на 38%), криза банківської системи, значне скорочення виробництва в будівельній, металургійній, хімічній та машинобудівельній промисловостях.

Під час фінансової кризи 2008-2009 рр. польська економіка не тільки не зазнала рецесії, а й продовжувала зростати. Звичайно, в умовах глобалізації та взаємозалежності держав зовсім уникнути кризи було неможливо. Злотий також знецінився майже в два рази по відношенню до долара, скоротилися обсяги прямих інвестицій на 16% в 2009 році. Однак за цей період Польща, яка ще недавно перебувала в статусі вічного боржника, перетворилася на країну стабільного економічного зростання. Основним чинником, який допоміг Польщі вистояти в кризовий період, є солідний фундамент економіки, закладений протягом останніх 20 років реформ, а саме: швидка й прозора приватизація, виключно в готівкових розрахунках; усунення всіх перепон на шляху іноземних інвестицій; адаптація законодавства до правових норм ЄС та вступ до Євросоюзу; зниження податків, спрощення процедури реєстрації та ведення малого бізнесу, відкриття кредитних ліній для підприємств; тотальний контроль над доходами держслужбовців та членів сейму, боротьба з корупцією [1, 4].

Перелік основних реформ, що здійснювали Україна та Польща, та їх оцінку з точки зору створення сприятливого інвестиційного клімату, подолання економічної кризи та покращення економічного розвитку країни подано в [8, 9].

Для проведення порівняльного аналізу та визначення характерних часових та масштабних особливостей часових рядів доходностей індексів фондових ринків України і Польщі застосовуються методи вейвлет-аналізу. За допомогою вейвлетного перетворення виконється переклад

позиція часового ряду у серію ієрархічних апроксимацій та деталей (багаточастотний аналіз), а також розвинення варіації (енергії) сигналу за частотами.

Неперервне вейвлет-перетворення (НВП) вхідного сигналу $f(t)$ формально записується таким чином [3, 5]:

$$\gamma(s, \tau) = \int f(t) \overline{\psi_{s,\tau}}(t) dt, \quad (1)$$

де $\psi_{s,\tau}(t)$ – дочірні вейвлети, побудовані з материнського вейвлету $\psi(t)$ за допомогою операцій масштабування та зсуву.

Обернене вейвлет-перетворення, що відновлює початковий сигнал $f(t)$, має наступний вигляд:

$$f(t) = \iint \gamma(s, \tau) \psi_{s,\tau}(t) d\tau ds. \quad (2)$$

У реальних задачах для обробки часових рядів часто використовується дискретне вейвлет-перетворення (ДВП):

$$f(t) = \sum_{j,k} \gamma(j, k) \psi_{j,k}(t). \quad (3)$$

Для зменшення набору вейвлетів у базисі застосовується низькочастотний фільтр, який в ДВП зображується функцією масштабування $\varphi(t)$. Оскільки вхідний сигнал $f(t)$ може бути виражений за допомогою вейвлетів аж до масштабу (рівня) $j-1$, то його можна записати за допомогою функції масштабування $\varphi(t)$ аж до масштабу j :

$$f(t) = \sum_k \lambda_j(k) \varphi(2^j t - k). \quad (4)$$

Переходячи в цьому рівнянні до масштабу $j-1$, щоб не втратити рівень деталізації, необхідно додати вейвлети:

$$f(t) = \sum_k \lambda_{j-1}(k) \varphi(2^{j-1} t - k) + \sum_k \gamma_{j-1}(k) \psi(2^{j-1} t - k). \quad (5)$$

Якщо продовжити зменшувати масштаб, додаючи вейвлети, то можна одержати розвинення функції у вейвлетні ряди на масштабі j у спрощеному вигляді:

$$f(t) = \sum_k \lambda_j(k) \varphi_{j,k}(t) + \sum_k \sum_{j=i}^{\infty} \gamma_j(k) \psi_{j,k}(t), \quad (6)$$

де $\lambda_j(k)$ називаються коефіцієнтами апроксимації, а $\gamma_j(k)$ – коефіцієнтами деталізації. Перша сума в (6) містить усереднені (з ваговими функціями $\varphi_{j,k}(t)$) значення функції $f(t)$ по діадним інтервалам $[k \cdot 2^{-j}, (k+1) \cdot 2^{-j}]$, друга – значення флуктуацій на цих інтервалах.

Для обчислення характеристик вейвлет-ентропії використовується метод розбиття часового ряду на вікна, що не перекриваються [2]. Обираються вікна довжини L та утворюються N_T інтервалів $N_T = \frac{M}{L}$, M – довжина ряду. Вейвлет-енергія на масштабі j ($j=1, \dots, N$) для часового вікна i розраховується за формулою

$$E_j^{(i)} = \sum_{k=(i-1)L+1}^{iL} |\gamma_j(k)|^2, \quad i=1, \dots, N_T. \quad (7)$$

Загальна енергія у цьому часовому вікні буде рівна

$$E_{tot}^{(i)} = \sum_{j=-N}^{-1} E_j^{(i)}. \quad (8)$$

Зміна з часом відносної вейвлет-енергії ($p_j^{(i)}$) та нормалізованої загальної вейвлет ентропії ($E_{WT}^{(i)}$) визначається за формулами:

$$p_j^{(i)} = \frac{E_j^{(i)}}{E_{tot}^{(i)}}, \quad (9)$$

$$E_{WT}^{(i)} = - \sum_{j=-N}^{-1} p_j^{(i)} \frac{\ln p_j^{(i)}}{X_{\max}}. \quad (10)$$

Нормалізована загальна вейвлет-ентропія може використовуватись як міра ступеня регулярності (хаотичності) часового ряду і, таким чином, надавати корисну інформацію про приховані динамічні процеси, асоційовані з часовим рядом [2].

Дослідження проводилося на основі аналізу нестаціонарних часових рядів логарифмічних доходностей індексів української (UX) та польської фондових бірж (WIG20) за період з 08/01/2008 по 14/02/2011 (749 відліків). Дохідності індексів розраховувалися за цінами закриття, їх абсолютні значення використовувалися як міра волатильності. Експериментальним шляхом отримали, що найкраще фазові переходи систем проявляються при використанні вейвлету Db1 при ДВП, та вейвлету Db7 при НВП.

На рис.1 представлені компоненти сигналів, відновлених по коефіцієнтам апроксимації за результатами розкладу доходностей української та польської бірж з використанням вейвлету Db1 з сімома рівнями декомпозиції. Слід зауважити, що моменти часу входу в кризовий стан та виходу з нього дійсно співпадають для індексів України та Польщі, проте далі картина кардинально змінюється. В Україні перша хвиля кризи стала помітною вже на початку лютого 2009 р. та закінчилася в середині серпня 2009 р. Друга хвиля кризи розпочалася на початку вересня 2010 р., коли згідно з заявами урядовців Україна нібито остаточно пережила світову фінансову кризу, проте продовжує відчувати її наслідки, а саме, зростання рівня цін на споживчі товари, високий рівень заборгованості економіки країни тощо.

Часові рамки першої хвилі кризи в Польщі співпадають з даними по Україні, проте вже наприкінці лютого 2010 р. економіка Польщі потрапляє в зону незначної нестабільності, яка почалася помітно раніше за другу хвилю кризи в Україні. Це пояснюється світовими очікуваннями нової іпотечної кризи в США (вже не житлових, а офісних та торговельних приміщень), що сильно вплинуло на більш розвинений та глобалізований польський індекс. Слід відмітити, що вказані дати носять дещо умовний характер. Така ситуація пов'язана з модельними обмеженнями, бо в даному дослідженні детектування часових рамок фінансової кризи робиться виключно за фондовими індексами. Схожість перших хвиль кризи в Україні та Польщі обумовлена екзогенними економічними факторами, що мають глобальний характер. Подальший розвиток подій відрізняється локальними особливостями, в основі яких лежить здатність економічних систем зберігати внутрішню стабільність.



Рис. 1. Графіки трендів доходностей індексів UX та WIG20, відновлених по коефіцієнтах апроксимації

Для перевірки виявлених ефектів застосовується неперервне вейвлет-перетворення. На рис. 2, 3 наведені спектрограми доходностей індексів UX та WIG20 відповідно (зміни масштабу були обрані з кроком 1 від 1 до 32). Чорні лінії відповідають лініям максимумів енергії,

причому ознакою переходу до кризового стану є момент сходження виразних похилих та вертикальних ліній. Як наслідок, легко помітити прояв фрактальності у досліджуваній системі.

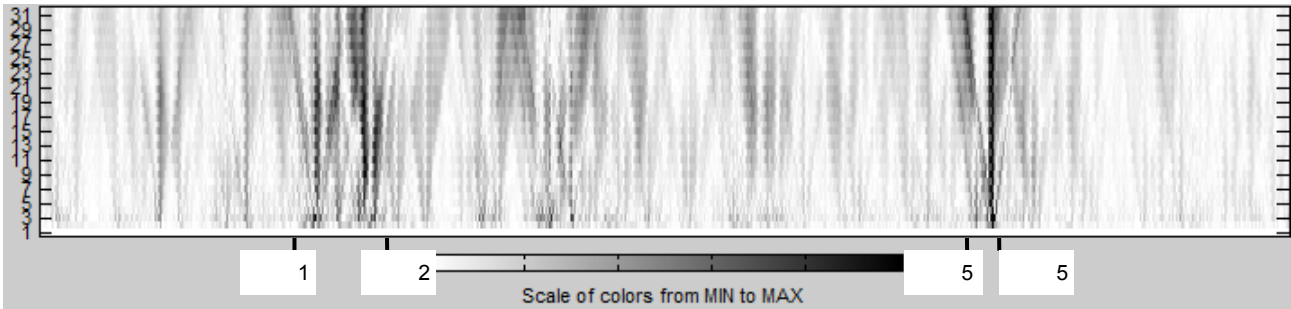


Рис. 2 Спектрограма доходностей індексу UX за січень 2008 – першу половину лютого 2011 рр.

Протягом періоду з 1 серпня по 16 вересня 2008 р. спостерігався потужний сплеск енергії, який супроводжувався падінням індексу UX, і передував початку економічної кризи в Україні (рис. 2). У лютому відбувся ще один концентрований викид енергії, який відповідав 8,1% падінню індексу і досягнення ним рекордно мінімального рівня з початку економічної кризи. Надалі мало місце різке зростання індексу UX, що пояснюється переходом UX та ПФТС на новий рівень функціонування за рахунок запуску торгових систем, які передбачають створення ринку заявок з торгами за принципом "поставка проти платежу" і введення інтернет-трейдингу, що сприяло підвищенню ділової активності. Побудована вейвлет-спектрограма добре виявляє по-

дібний, але сильніше виражений сигнал, що надійшов в перших числах квітня 2010 р. та передував різкому зростанню індексу UX 26.05.2010 на 18,2% після майже 43% обвалу ринку, викликаного спекулятивними очікуваннями другої хвилі світової кризи.

Початком фінансової кризи в Польщі можна вважати кінець вересня 2008 р., адже в той момент спостерігався сильний сплеск енергії (рис. 3), який тривав до 20-х чисел листопада. Проте, слід зазначити, що вже добре відомий кризовий трикутник завершився в 20-х числах жовтня того ж року. Друга хвиля кризи в Польщі відсутня. Побудована вейвлет-спектрограма виявляє лише контури вже відомого нам трикутника.

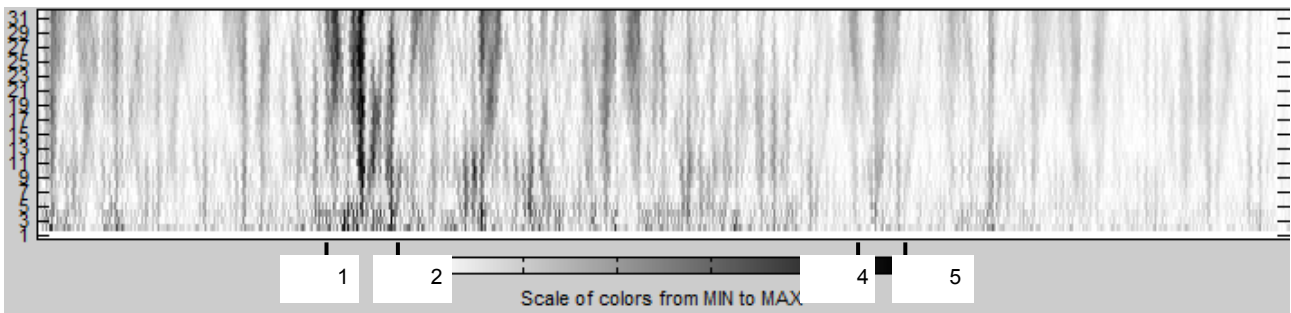


Рис.3. Спектрограма доходностей індексу WIG20 за січень 2008 – першу половину лютого 2011 рр.

Дослідимо динаміку волатильності доходностей індексів за допомогою методу віконного перетворення, який полягає в розрахунку наступних коефіцієнтів [6]:

$$\tilde{\gamma}_j(k) = \frac{1}{n_j} \sum_{i=\frac{n_j}{2}}^{\frac{n_j}{2}-1} \gamma_j(k+1)^2, \quad k = \frac{n_j}{2}, \dots, N_j - \frac{n_j}{2} + 1, \quad (11)$$

де $\tilde{\gamma}_j(k)$ – згладжені центрованим ковзним середнім квадрати коефіцієнтів деталізації вейвлет-перетво-

рення; N_j – загальна кількість коефіцієнтів деталізації; n_j – розмір вікна ковзання на j -му рівні масштабування.

Застосування методу віконного перетворення на всіх рівнях масштабування при ДВП досліджуваних сигналів підтверджує зроблені вище висновки про характер і особливості виявлених кризових хвиль на фондових ринках України і Польщі. На рис. 4 представлено динаміку волатильності доходностей індексів на третьому рівні декомпозиції, яка має дві чітко визначені хвилі для UX та лише одну хвилю для WIG20. Аналогічна картина спостерігається і на інших рівнях масштабування.

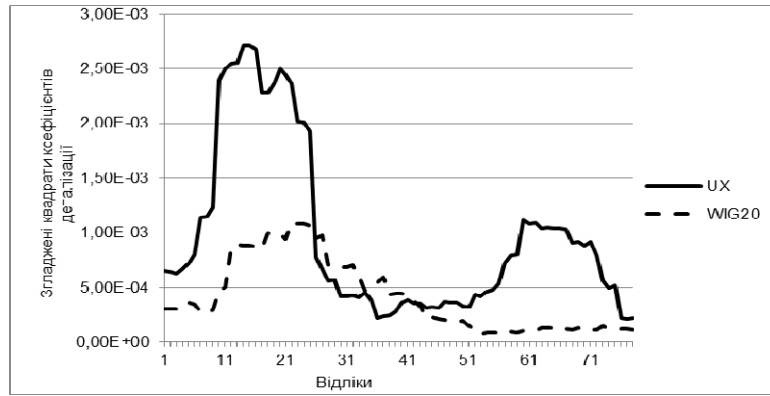


Рис. 4. Динаміка волатильності доходностей індексів на 3-му рівні масштабування

Розподіл волатильності доходностей індексів по рівням декомпозиції представлено у вигляді діаграми (рис. 5). Зауважимо, що волатильність польського індексу WIG20 залишається стабільною на рівнях деталізації, різко спадаючи лише на останньому рівні розкла-

ду. Це свідчить про випадковий характер флуктуацій волатильностей цього індексу. Волатильність індексу UX української біржі демонструє підвищену амплітуду флуктуацій на шостому рівні деталізації, яка відповідає значенню волатильності рівня апроксимації.

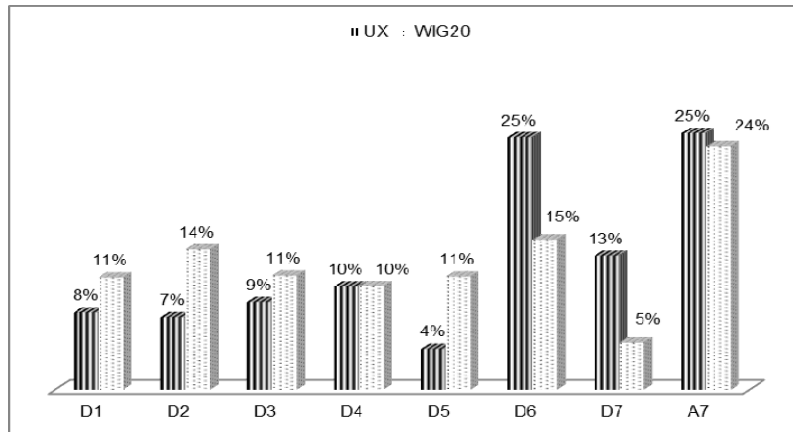


Рис. 5. Розподіл волатильності доходностей залежно від рівня декомпозиції

На рис. 6 представлено динаміку нормалізованої загальної вейвлет-ентропії індексів UX та WIG20, що розрахована віконним методом (всього 12 вікон) за формулою (11).

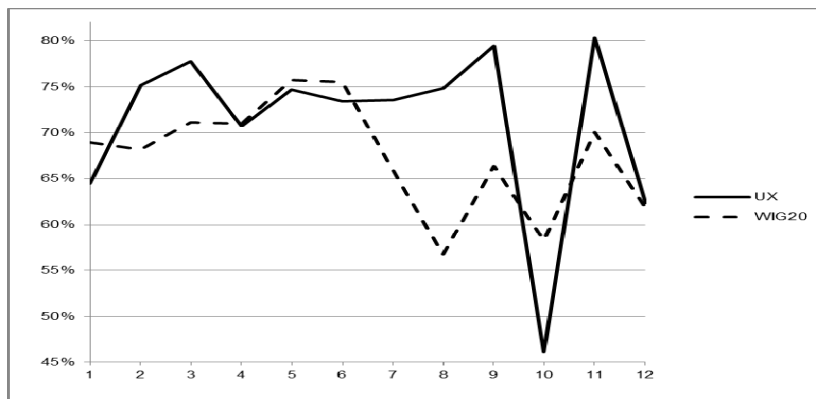


Рис. 6. Динаміка загальної вейвлет-ентропії доходностей індексів UX та WIG20

Спостерігається більш різке коливання значень ентропії доходностей індексу UX, порівняно з індексом WIG20. Коливання особливо посилюються наприкінці досліджуваного періоду і це пов'язано з виникненням другої хвилі кризи в Україні та відносно стабільною економічною ситуацією в Польщі.

Оскільки ряди доходностей мають ознаки мультифрактальності, то для їх вивчення було застосовано методи фрактального аналізу, які спираються на вейвлет-перетворення часових рядів [7].

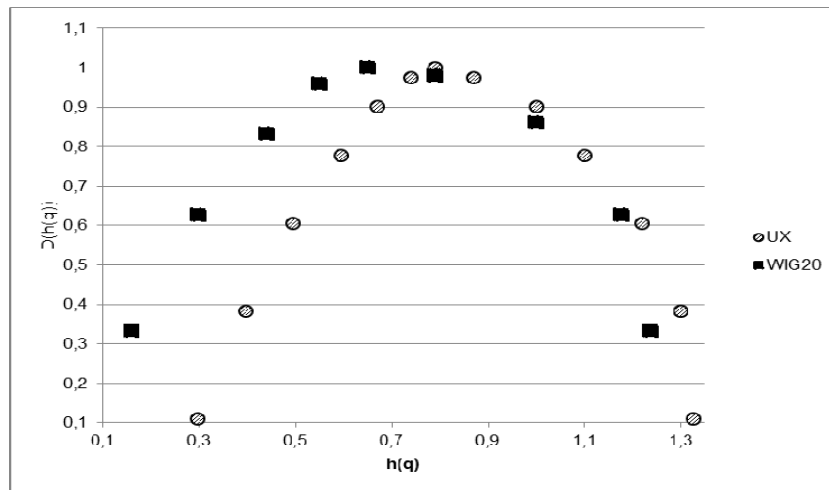


Рис. 7. Фрактальні спектри доходностей індексів UX та WIG20

На рис. 7 представлено фрактальні спектри доходностей індексів, форма яких дозволяє зробити висновок про те, що обидві економічні системи є мультифрактальними і характеризуються персистентною поведінкою. Узагальнений показник Херста для українського та польського індексів виявився рівним 0,79 та 0,65 відповідно, що свідчить про вищий ступінь автокорельованості і трендостійкості українського фондового ринку.

Україна недостатньо інтегрована до європейського простору на відміну від Польщі, яка входить до ЄС. Крім цього Україна є надто політично нестабільною, а її індустріальна база потребує значного відновлення. Інвестиції в Україні зазвичай реалізуються за моделлю, що широко застосовується в країнах Центральної Азії, Африки та Латинської Америки та передусім спрямовані до сировинного сектору або у складальне виробництво, що орієнтовані виключно на внутрішній ринок.

Дослідження показали, що фінансова криза 2008-2009 рр. не була лише наслідком світової рецесії. Економічна система України була нестабільною ще до початку світової кризи. Незважаючи на кількість заявлених реформ в Україні, інвестиційний клімат не поліпшується, стійкість до кризових збурень залишається низькою. Проблема полягає не у відсутності реформ в принципі, а в тому, що в Україні явно не вистачає сили політичної волі, щоб провести їх швидко і до кінця.

Проведений вейвлет-аналіз логарифмічних доходностей індексів UX та WIG20 дозволив здійснити декомпозицію сигналів за масштабом і часом, виявити фрактальність представлених часових рядів і охарактеризувати критичні стани фондових ринків. Були визначені приблизні часові рамки початку та завершення кризових хвиль та встановлено, що на українському фондовому ринку спостерігалася друга хвиля кризи. Ця хвиля була проявом внутрішніх локальних проблем та нестабільності національної економічної системи. Відсутність

другої кризової хвилі на польському ринку було підтверджено також результатами застосування методу оцінювання енергії та ентропії рівнів декомпозиції досліджуваних часових рядів.

Надалі передбачається продовжити дослідження фондових ринків на основі інтегрованого застосування вейвлет-перетворення та фрактального аналізу.

1. Вірченко А. Значення фінансової політики в умовах глобальної фінансово-економічної кризи [Текст] / А. Вірченко // Вісник Київського Національного Університету імені Тараса Шевченка. Серія: Економіка. – 2011. – Вип. 128. – С. 42-45.
2. Дербенцев В.Д. Синергетичні та економічні методи дослідження динамічних та структурних характеристик економічних систем [Текст]: [монографія] / В.Д. Дербенцев, О.А. Сердюк, В.М. Соловйов, О.Д. Шарапов. – Черкаси: Брама-Україна, 2010. – 287 с.
3. Дреммин И.М. Вейвлеты и их использование [Текст] / И.М. Дреммин, О.В. Иванов, В.А. Нечитайло // Успехи физических наук. – 2001. – Том 171. – №5. – С. 465-501.
4. Любкіна О. Посилення системних ризиків глобальної фінансової системи та трансформація регуляторів моделі у фінансовому секторі [Текст] / О. Любкіна // Вісник Київського Національного Університету імені Тараса Шевченка. Серія: Економіка. – 2011. – Вип. 127. – С. 9-13.
5. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB [Текст] / Н.К. Смоленцев. – М: ДМК-Пресс, 2005. – 304 с.
6. Субботин А. Волатильность и корреляция фондовых индексов на множественных горизонтах [Текст] / А. Субботин, Е. Буянова. // Управление риском – 2008. – № 47(3). – С. 51-59; № 47(4). – С. 23-40.
7. Arneodo A. Thermodynamics of fractal signals based on wavelet analysis: application to fully developed turbulence data and DNA sequences [Текст] / A. Arneodo, B. Audit, E. Bacry and other // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. – 15 May 1998. – Volume 254. – Issues 1-2. – P. 24-45.
8. Doing Business 2011: Reforming through Difficult Times [Електронний ресурс] // Doing Business: [сайт]. – Режим доступу: <http://www.doingbusiness.org/>. – Назва з екрана.
9. The World Bank. Doing Business. Measuring Business Regulations [Електронний ресурс] // Doing Business: [сайт]. – Режим доступу: <http://www.doingbusiness.org/reforms/overview>. – Назва з екрана.

Надійшла до редколегії 20.12.11