14. Харрис Л. Денежная теория. Перевод с англ. Серия: Экономическая мысль Запада. Общ. ред. и вступ. ст. докт. эк. наук В.М. Усоскина / П. Харрис. – М.: Прогресс, 1990. – 751 с.

15. Яструбецька Л.С. Грошові потоки в оцінці інвестиційного проекту підприємства / Л.С. Яструбецька; О.О. Перепьолкіна; О.А. Соловйова; Н.О. Краснікова; О.В. Дзяд. – С. 101–109.

А.С. БОЙКО,
аспірант, Київський національний економічний університет України ім. В. Гетьмана

Прогнозування кризових явищ на товарному ринку за допомогою аналізу вейвлет–ентропії

Запропоновано метод прогнозування та попередження кризових явищ за допомогою аналізу вейвлет–ентропії. Зроблено аналіз товарного ринку за допомогою вейвлет–ентропії.

Предложен метод прогнозирования и предупреждения кризисных явлений с помощью анализа вейвлет–энтропии. Сделан анализ товарного рынка с помощью вейвлет–энтропии.

Proposed method of predicting and preventing crises by analyzing wavelet entropy. The analysis of commodity market using wavelet entropy.

Постановка проблеми. На сучасному рівні товарні ринки, як зрілі та розвинуті установи, являють собою надзвичайно важливі інструменти впливу як на економіки окремих країн, так і на світову економіку в цілому. Інтерес до товарних ринків зараз дуже високий у світі. Висока волатильність фінансових майданчиків на тлі загрози рецесії економіки Євросоюзу і зниження вартості європейської валюти робить інвестиції в цінні папери, так само як і інвестиції у валютні інструменти, досить ризикованими. Ці чинники ведуть до перерозподілу інвестиційних ресурсів, тобто поступового відходу інвесторів на менш ризиковані товарні ринки, насамперед ринки нафти і дорогоцінних металів. Зростає також бізнес–інтерес до ринків сільськогосподарських товарів.

Предметом дослідження роботи є стан товарного ринку як складної, нелінійної, динамічної системи.

Останніми роками було використано кілька підходів для ідентифікації механізмів, що лежать в основі розвитку та функціонування складних систем. Важливі результати було отримано при дослідженні даних систем методами теорії випадкових матриць [1], моно– та мультифрактального аналізу [2], теорії хаосу з реконструкцією траєкторії системи у фазовому просторі та визначення її параметрів, таких як кореляційна розмірність та спектр показників Ляпунова [7]. Однак застосування даних методів висуває певні вимоги до даних, що досліджуються, а саме: дані мають бути стаціонарними, використання методів потребує великої вибірки статистичних даних та комплексного обчислення ряду параметрів. Це суттєво ускладнює застосування вищезгаданого інструментарію для прогнозування кризових явищ.

З огляду на величезний вплив товарних ринків як на світову економіку, так і на економіку окремої держави гостро постає питання ефективної роботи на таких ринках на всіх рівнях: від індивідуальних трейдерів до інституційних інвесторів. Ефективність роботи товарних ринків не має сенсу без якісних інструментів прогнозування, особливу роль в яких займають математичні методи і моделі. При прогнозуванні фінансових показників в даний час добре зарекомендували себе і широко застосовуються стохастичні моделі часових рядів [5].

Отже, ***метою роботи*** є створення ефективного інструменту, який надасть змогу роботи аналіз ситуації на товарному ринку з метою попередження кризових явищ.

Виклад основного матеріалу. Ефективним підходом у вивченні складних систем також є обчислення характеристик ентропії.

Концепція термодинамічної ентропії як міри хаосу системи не нова і добре відома у фізиці, однак останніми роками поняття ентропії було застосоване до складних систем інших об'єктів (біологічних, економічних, соціологічних тощо). Так, один із найбільш часто використовуваних методів визначення ентропії базується на обчисленні спектру потужності Фур'є та застосовується для вивчення сигналів (часових рядів) різної природи. Проте використання дискретного перетворення Фур'є для аналізу часових рядів має свої недоліки, зокрема, на результати впливає нестаціонарність рядів, варіювання їх довжини від сотень до сотень тисяч, та обмеження самого методу (незмінність частотно–часових характеристик протягом всього часу функціонування системи). Тому виникає питання про розрахунок значень ентропії за допомогою інших методів.

Необхідність дослідження часових рядів із різними частотними характеристиками привела до розвитку методів, що базуються на частотно–часовому аналізі. Вейвлетне часово–частотне представлення ряду не робить жодних припущень стосовно його стаціонарності і дозволяє визначати динамічні зміни разом з їх локалізацією.

При проведенні вейвлет–аналізу поданий часовий ряд (сигнал) розкладається на сигнали зі скінченою енергією у

© А.С. БОЙКО, 2011

ортонормованому базисі $L^2(R)$ шляхом відображення та масштабування наперед заданої функції Ψ із заданими властивостями, що називається материнським вейвлетом. Унаслідок декомпозиції сигналу отримується набір вейвлет–коефіцієнтів (здебільшого, комплексних), $C_j(t)$, що характеризуються двома параметрами: масштабом материнського вейвлета *j* та його локалізацією *t*. Оскільки енергія сигналу визначається як квадрат функції, що його описує $E = \int s^2 ds$, застосування поняття енергії до коефіцієнтів вейвлет–перетворення, що теж інтерпретуються як сигнал у просторі $L^2(R)$, дає змогу використовувати методи розрахунку ентропії у частотно–часовому просторі [3, 4].

При розрахунку коефіцієнтів використовуються такі типи вейвлет–перетворень:

– неперервне вейвлет–перетворення – розрахунок неперервних вейвлет–коефіцієнтів часового ряду *T* на цілих додатних масштабах з використанням як материнського вейвлета похідної 8–го порядку функції Гауса;

– дискретне вейвлет–перетворення – розрахунок дискретних вейвлет–коефіцієнтів часового ряду T на дійсних додатних масштабах у просторі з ортонормованим базисом із сімейства материнських функцій Морле з шістьма хвилями та періодами, що є дійсними степенями двійки;

– дискретне вейвлет–перетворення з цілими масштабами – розрахунок дискретних вейвлет–коефіцієнтів часового ряду T на цілих додатних масштабах у просторі з базисом із сімейства материнських функцій, що є похідними 2–го порядку функції Гауса.

Як базова формула розрахунку значення ентропії нами було обрано ентропію Шеннона внаслідок досить простого методу отримання розподілу щільності ймовірності енергії числового ряду [3].

На основі енергії вейвлет–коефіцієнтів було визначено два показники вейвлет–ентропії – масштабової та точкової ентропії. У випадку розрахунку масштабової вейвлет–ентропії формула Шеннона застосовується до оброблених даних по масштабам, в іншому випадку обробка даних проводиться по часовій шкалі.

При розрахунку масштабової ентропії спочатку визначається розподіл щільності ймовірності енергій $p_{ij} = \frac{C_{ij}^2}{E_{tot}}$, де C_{ij} – вейвлет–коефіцієнт на масштабі і в момент часу *j*, $E_{tot} = \sum_i \sum_j C_{ij}^2$. Для розрахунку ентропії знаходяться значення функції $E_{WT} = -\sum_i \left(\left(\sum_j p_{ij} \right) \cdot \log_2 \sum_j p_{ij} \right)$. Для розрахунку точкової ентропії визначаються суми енергій на кожному масштабі $SM_i = \sum_j C_{ij}^2$ та знаходиться розподіл щільності ймовірності енергій шляхом ділення енергій вейвлет–коефіцієнтів на сумарну енергію масштабу $p_{ij} = \frac{C_{ij}^2}{SM_i}$. Значення ентропії у кожній точці знаходиться за формулою Шеннона

$$E_{WT} = -\sum_j \left(\left(\sum_i p_{ij} \right) \cdot \log_2 \sum_i p_{ij} \right).$$

При розрахунку енергій вейвлет–коефіцієнтів проводиться нормалізація значень середнім квадратичним відхиленням, а у формулу Шеннона додається нормалізуючий множник $1/\log_2 N$, де *N* – кількість елементів ряду.

Аналіз вейвлет–ентропії вихідного або ж перетвореного ряду вказує на певні характеристики і особливості сигналу, який досліджується. Вейвлет–ентропія може служити одним із показників, який допомагає визначити кризу.

Розглянемо на реальних прикладах, як відбувався розвиток подій на конкретних світових товарних ринках.

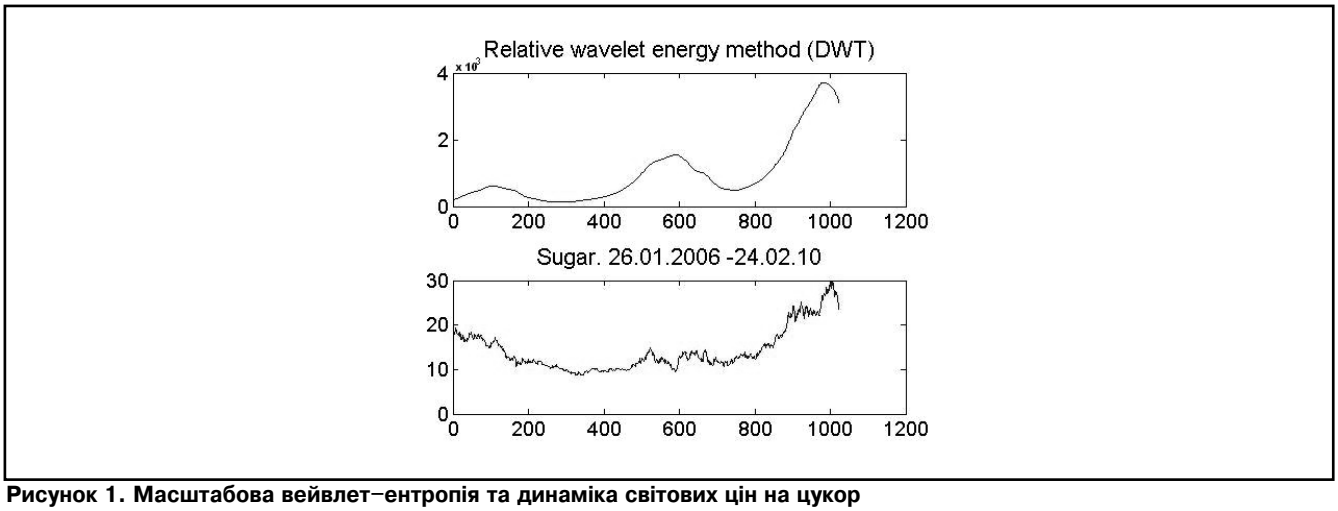

Рисунок 1. Масштабова вейвлет–ентропія та динаміка світових цін на цукор

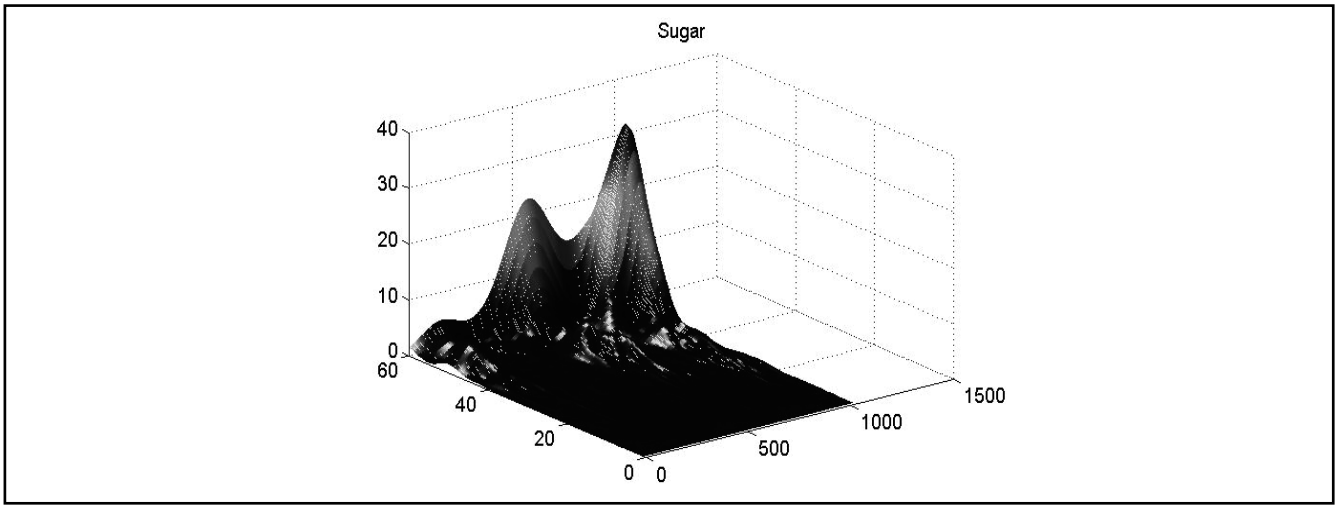

Рисунок 2. Енергія вейвлет–коефіцієнтів

У середовищі пакету для числового аналізу Matlab було розроблено відповідне програмне забезпечення для аналізу вейвлет–ентропії часових рядів.

Для дослідження було створено числовий ряд зі світовими цінами на цукор з 26 січня 2006 року по 24 лютого 2010 року. Дані були отримані за допомогою функції «Архів котирувань» програмного засобу X–Trader [5].

На рис. 1 у нижній частині зображено динаміку світових цін на цукор. У верхній частині – графік, що відображає динаміку зміни значень масштабової ентропії. При порівнянні графіків можна зробити певні висновки щодо поведінки ціни. Значення показника вейвлет–ентропії досягає свого максимуму раніше за максимальну ціну на цукор, що дозволяє у короткостроковому періоді передбачити поведінку ціни. Також певні кореляції спостерігаються в двох підвищеннях значень вейвлет–ентропії приблизно на 100–му та 600–му елементах динамічного ряду з двома нестабільними станами ціни на цукор у тих самих елементах ряду, що показує нестабільність числового ряду і характеризую ряд як дуже змінний.

На рис. 2 зображено енергію вейвлет–коефіцієнтів даного ряду. Третій пік на рис. 2 показує настання максимального значення ціни на цукор.

Висновки

Товарні ринки потребують надійного діючого інструменту для дослідження динаміки. Складність усієї системи товарних ринків зумовлює постійну зміну факторів формування різних характеристик економічних процесів. Розробка надійного інструменту складний процес. Складність проблеми полягає у розробці методів, які будуть враховувати та відстежувати зміну усіх характеристик у комплексі.

Тож пріоритетним завданням сьогодні є розробка ефективної системи показників, за допомогою яких можна буде з найбільшою вірогідністю прогнозувати та попереджувати кризи. Зроблені певні кроки в даному напрямі, деякі показники вже можна зарахувати до цієї системи. Такими показниками є волатальність, коефіцієнт Херста, індекс асиметрії.

З аналізу вейвлет–ентропії світових цін на цукор можна зробити певні висновки щодо майбутнього розвитку подій на ринку цукру. Вищезазначений аналіз показав настання піку цін на ринку цукру. Своєчасне використання цього методу дослідження у комплексному аналізі інших показників дозволило б попередити кризу на ринку цукру за допомогою своєчасно запроваджених стабілізаційних заходів в аграрному секторі. Використання аналізу світового ринку цукру допоможе вчасно попередити кризи також і на українському ринку цукру, як невід'ємної складової світового товарного ринку.

Література

1. Піскун О.В., Сердюк О.А., Триус В.Ю. Кореляційні та спектральні властивості світового валютного ринку // Фінансова система України. Збірник наукових праць. – Острог: Видавництво «Національний університет «Острозька академія», 2006. – Вип. 8. – Ч. 3.– С. 449–454.

2. Сердюк О.А. Моделювання передвісників кризових явищ фінансових ринків // Проблеми і перспективи розвитку банківської системи України: Збірник наукових праць. Т. 18. – Суми: УАБС НБУ, 2006. – С. 315–321.

3. Perez D.G., Zunino L., Garavaglia M., Rosso O.A. Wavelet entropy and fractional Brownian motion time series // arXiv:physics/0501105 v1 19 Jan 2005.

4. Zunino L., Perez D.G., Garavaglia M., Rosso O.A. Wavelet entropy of stochastic processes // arXiv:physics/0603144 v1 17 Mar 2006.

5. Сайт компанії X–Trade Brokers: http://www.x–trade.com.ua

6. Канторович Г.Г. Анализ временных рядов // Экономический журнал ВШЭ, №1–4, 2001.

7. Песин Я.Б. Характеристические показатели Ляпунова и гладкая эргодическая теория. УМН, т. 32, с. 55–112, 1977.

8. Астафьева Н.М. Вейвлет–анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. 1996, т. 166, №11. – С. 1145–1170.

9. Дремин И.М., Іванов О.В., Нечитайло В.А. Вейвлеты и их использование // Успехи физических наук. 2001, т. 171, №5. – С. 465–501.