

Л. М. Уніговський, д.т.н., ген.директор ТОВ «Нафтогазбудінформатика», м. Київ
Т. І. Олешко, д.т.н., професор, Національний авіаційний університет, м. Київ
О. М.Горбачова, к.е.н., доцент, Національний авіаційний університет, м. Київ
О. В.Марусич, асистент, Національний авіаційний університет, м. Київ
О. Л.Лещинський, к.ф-м.н., доцент, Національний авіаційний університет, м. Київ

КВАЗИЦИКЛІЧНИЙ ПЕРЕДПРОГНОЗНИЙ АНАЛІЗ СВІТОВИХ ЦІН НА НАФТУ

В даній статті висвітлюється методика квазіциклічного передпрогнозного аналізу часових рядів з складною локальною будовою, застосування її для прогнозу світових цін на нафту і вивчення питання коректності цього застосування, а також реалізується перший етап квазіциклічного аналізу - розбиття часового ряду цін на нафту на квазіцикли.

Актуальність теми. Сучасна економіка України характеризується підвищенням як складності процесів, які в ній відбуваються, так і складністю структури економічних систем. Проте слід зазначити, що ускладнення економічних систем і процесів не є специфічною особливістю економіки України. Глибинні трансформаційні процеси торкнулися економіки практично всіх країн світу.

Основними рисами моделей економічних систем, які розроблялися вітчизняними і зарубіжними вченими і активно використовувалися до недавнього часу, можна вважати їх орієнтацію на припущення економічної рівноваги, стаціонарність, локальність, тобто розгляд окремих аспектів складних економічних процесів. Але для вивчення еволюційних характеристик економічних процесів, які залежать від часу, природнішим здається побудова і дослідження їх динамічних моделей.

Економічні процеси і системи, як правило є слабоформалізованими і слабо структурованими. Для них характерні велика кількість критеріїв, високий рівень стохастичності або невизначеності, інтервальність прояву, нечіткість значень вихідних даних, складність, циклічність, хаотичність як природи самих процесів, які досліджуються, так і хаотичність структури їх зв'язків.

Значний внесок у розвиток теоретичних і практичних основ економічної теорії, економічного моделювання, аналізу, прогностики і її нової гілки – синергетичної економічної парадигми - внесли такі вчені як Н. Вінер, В.В. Леонт'єв, А.Е. Андерсон, І. Бернар, К. Гергелі, Дж. Джонстон, К. Доугерті, Е. Кейн, М.Дж. Кендал, Ю. Колек, Ж.О. Ланге, М. Ландсберг, Ф. Ліон, Э. Маленво, Б.Б. Мандельброт, Дж. Мартіно, М. Осборн, Е. Петерс, Р. Пректер, А.І. Пригожин, Е. Сигел, А. Стьюарт, Р. Тейл, Р. Тинтнер, Дж. Фішер, Л. Фішман, А.Дж. Фрост, Р. Хакен, Д. Хейс, К. Холден, Р. Шустер, І. Шуян, Р.Н. Елліотт, Л. Еноксон, Е. Янч.

Часові ряди реальних економічних процесів, як правило, мають складну локальну будову, складні внутрішні властивості і характеристики і тому їх вивчення класичними економіко-математичними методами дуже рідко приводить до адекватних результатів і висновків. Враховуючи зазначені особливості часових рядів, вчені стали застосовувати теорію нелінійної динаміки, яка, на відміну від статистики, вивчає складну поведінку економічних систем і розвиток процесів, що протікають в них, з урахуванням часу.

Дослідження динаміки поведінки економічних систем дозволяє не тільки визначити перспективи і можливі сценарії розвитку досліджуваного об'єкту, але й розробити комплекс адаптивних дій, виявити можливі резерви і скоректувати політику, що реалізується в реальній економічній системі.

Застосування статистичних методів у випадку дослідження нелінійних динамічних систем досить ускладнене, не говорячи вже про випадок виникнення хаосу.

У разі виникнення таких складних видів динаміки, як хаос, застосування методів нелінійної динаміки дозволяє якоюсь мірою полегшити вивчення проблеми, визначаючи детермінований механізм поведінки системи, що, у свою чергу, зменшує невизначеність в її дослідженні.

Хаос є вершиною складності поведінки системи. Хаосом називається нестабільна, аперіодична, непередбачувана поведінка системи. Якщо система є хаотичною, то через очевидну складність детермінованого механізму ніякі спроби застосувати стохастичні методи не дадуть найменших достатніх результатів. У цей же час НД дозволяє побудувати такий механізм управління, який спростить поведінку, зменшить амплітуду коливань і зробить можливим застосування методів прогнозування навіть за відсутності вичерпної інформації про механізм утворення поведінки.

Чисельні методи не можуть претендувати на точність і повноту охоплення інформації, яку забезпечують аналітичні методи, однак, вони дозволяють отримувати більш наочну інтерпретацію результатів дослідження, і можуть бути застосовані у випадках, коли повномасштабне аналітичне дослідження неможливе.

Методи нелінійної динаміки ґрунтуються на аналізі економічних часових рядів. Під економічним часовим рядом розуміють впорядковану множину значень $z_j, j = 1, 2, \dots, L$, для якої фактором впорядкування виступає час.

Якщо при цьому він задається у вигляді

$$z_j, j = \overline{1, n},$$

то його називають «траєкторією» [2].

Враховуючи закономірності ЧР, стає проблематичною побудова і використання якісних регресійних моделей з метою отримання прогнозу на основі традиційного методу найменших квадратів. Таким чином процес прогнозування ЧР вимагає використання нових методів, які б найбільш адекватно відображали усю складність економічних процесів.

Фрактальний аналіз пропонує для економіко-математичного моделювання складніший інструментарій в порівнянні з економетрикою, але його результати вважаються більш адекватними. Базовим інструментом для фрактального аналізу часових рядів є запропонований Херстом R/S-аналіз.

Фрактальна структура ЧР породжує тренди обмеженої тривалості і квазіцикли («квазі»- грец. «як би»). Вона надає аналітику значну інформацію про тенденції, які властиві динаміці ЧР, що спостерігається. За допомогою цього алгоритму вдається виявити і чисельно оцінити такі фундаментальні характеристики часових рядів як наявність довготривалої пам'яті і її глибини, трендостійкості (персистентності) або, навпаки, антиперсистентності та ін. Вплив цих характеристик дозволяє використовувати нові показники (критерії) оцінки економічних процесів, а також будувати прогностичні моделі, які виявляються продуктивними у разі, коли класичні методи прогнозування виявляються неефективними.

В нелінійних динамічних системах дуже важлива візуальна оцінка. Це, як правило, пов'язане з тим, що вони не мають єдиного рішення. Звичайно існує множина – можливо, нескінченна кількість – рішень. У минулому, ця обставина примушувала дослідників уникати розгляду нелінійних систем. Сучасні графічні можливості персональних комп'ютерів дозволяють нам побачити всю величезну множину можливих рішень. Багато хаотичних систем мають нескінченну кількість рішень, зосереджених в обмеженій частині простору, і ця множина можливих рішень часто має фрактальну розмірність.

Розглядати дані неважко, якщо нам відомі всі змінні системи. Ми просто наносимо їх на координатну площину. Якщо змінних дві, то одну з них приймаємо за x , іншу за y і викреслюємо залежність в декардових координатах, тобто наносимо величину однієї з них щодо значення іншої в один і той же момент часу. Це називається фазовим портретом системи – він викреслюється у фазовому просторі. Розмірність фазового простору залежить від кількості змінних в системі. Якщо вона включає дві або три змінних, можна спостерігати дані візуально. Якщо розмірність системи більше трьох, то це робиться математичними методами [4].

Як вже було відмічено вище, дослідження поведінки ДС зводиться до вивчення поведінки траєкторій у фазовому просторі (ФП). З геометричної точки зору під структурою розбиття ФП на траєкторії розуміється геометрична картина взаємного розташування фазових траєкторій в просторі. Необхідно відзначити, що повний опис ФП для довільної динамічної системи є дуже складною і до цих пір не вирішеною проблемою.

Фазові портрети, що є стійкими станами (точка і граничний цикл), називаються атракторами, а складніша структура, що виникає як фазовий портрет нелінійної динамічної системи, називається дивним атрактором.

Множина точок у ФП, з яких система потрапляє на атрактор, називається басейном тяжіння даного атрактора. Якщо атрактор у ФП єдиний, його басейном є весь фазовий простір. За наявності декількох

атракторів говорять, що має місце мультистабільність. При цьому басейни ділять ФП між собою.

Атрактори можуть існувати в просторі станів тільки дисипативних динамічних систем. Так називають системи, що володіють властивістю стиснення фазового об'єму.

Перерахуємо деякі можливі види атракторів у фазовому просторі і вкажемо характер сталих рухів, яким вони відповідають (рис. 1).

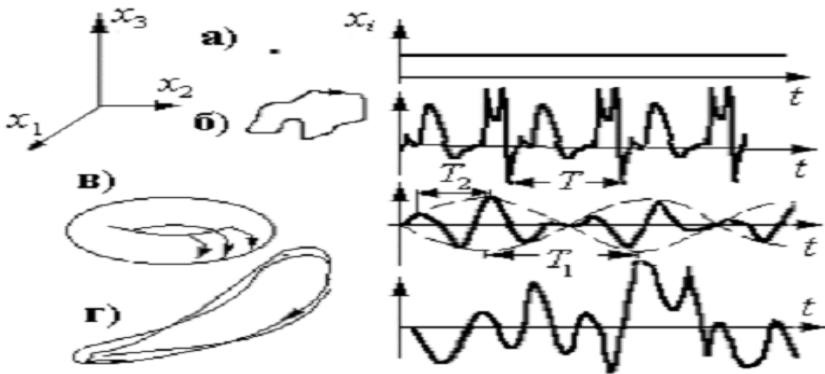


Рис. 1. Приклади характерних множин у фазовому просторі систем з неперервним часом і часових реалізацій рухів, яким вони відповідають

Окрім станів рівноваги, що представлені точками (рис. 1,а), атрактор може бути [1]:

- цикл – замкнута крива у ФП, образ руху, що повторюється з періодом T (рис. 1,б);
- тор – «нескінченно тонка нитка, що намотується на бублик», образ квазіперіодичних рухів з двома характерними періодами T_1 і T_2 , що знаходяться в ірраціональному співвідношенні (рис. 1, в). Тор може представляти собою складний рух з трьома, чотирма і так далі некратними частотами синусоїдальних компонент;
- фрактально влаштована множина, зосереджена в обмеженій області фазового простору, образ хаотичних коливань – дивний атрактор (рис. 1,г).

Дивний атрактор - це область ФП, в яку з часом притягуються траєкторії, що починаються в деякій околиці цієї області. При цьому дивний атрактор складається з нескінченного числа нестійких циклів різних періодів і незліченної множини аперіодичних точок.

Комплексний аналіз економічних часових рядів методами нелінійної динаміки (теорії хаосу) включає наступні етапи:

1. Етап візуалізації часового ряду.
2. Обчислення метричних характеристик, що дозволяють діагностувати тип динаміки.

3. Побудова для даного ЧР фазового портрета $\Phi_2(Z)$.
4. Розкладання фазового портрета на квазіцикли S_T з урахуванням того факту, що можуть виявитися незавершеними початковий і кінцевий квазіцикли.
5. Проведення аналізу еволюції центрів квазіциклів $S_T(x_T, y_T)$ і еволюції розмірів (площі) їх габаритних прямокутників, а також характер обертання ланок квазіциклів, приділяючи особливу увагу наявності ланок, що мають напрям обертання проти годинникової стрілки.
6. Побудова прогнозу: або локального, шляхом пошуку близьких траєкторій, або глобального, шляхом реконструкції аттрактора або побудови предиктора.

Етапи комплексного аналізу розглядалися на прикладі часового ряду спотової ціни на нафту марки Brent з 20.05.1987 по 20.04.2010 рр. [6].

Для розрахунку показників і побудови фазового портрету використовувалося програмне забезпечення Fractan 4.4. Програма була розроблена В'ячеславом Сичевим в Лабораторії Обробки Даних Інституту Математичних Проблем Біології РАН. За допомогою Fractan 4.4 можна обчислити кореляційну розмірність, кореляційну ентропію і показник Херста [5].

Візуальний аналіз дозволяє визначити тип поведінки - регулярна або випадкова, а також наявність тренда. Якщо поведінка ряду регулярна - значення прагнуть до деякої рівноваги або циклу, то подальший аналіз такого ряду методами НД недоцільний. Якщо ряд виглядає як випадковий і при цьому містить лінійний або достатньо простий нелінійний тренд, то необхідно, застосовуючи стандартні статистичні методи, очистити дані часового ряду від тренда. На рис. 2 представлений графік денних цін на нафту.

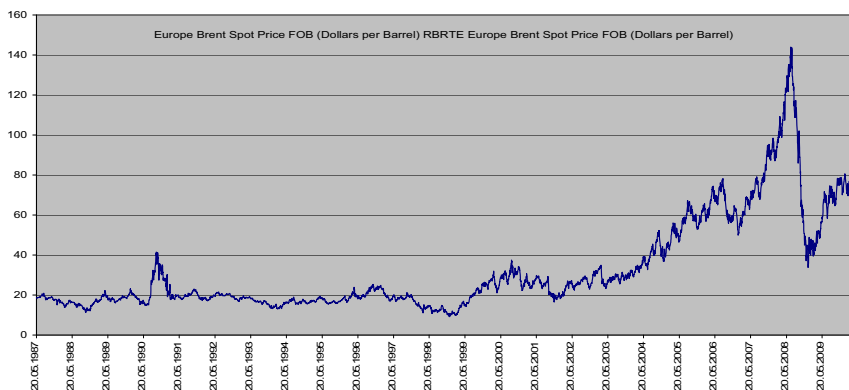


Рис. 2. Денні ціни на нафту марки Brent

На основі графіка був зроблений висновок про відсутність лінійного або іншого простого тренда, тобто, іншими словами, це свідчить про непридатність застосування статистичних методів.

Обчислимо метричні характеристики, які дають можливість діагностувати тип динаміки.

В нашому випадку кореляційна розмірність дорівнює 4,046, інформаційна розмірність дорівнює 0,001

На практиці для оцінювання показника H часто використовують метод, який полягає в побудові функції лінійної регресії. Якщо побудувати графік цієї регресії в подвійних логарифмічних координатах, то оцінкою показника Херста в цьому випадку буде коефіцієнт нахилу H цієї прямої.

Крива залежності R/S від N для $H = 0,925554$ показує $H = 0,9256 \pm 0,2184$.

Фрактальна розмірність: $d_f = 2 - H = 1,0744 \pm 0,2184$, тобто ряд додатно корельований (персистентний).

Головна мета використання фазового простору полягає в тому, щоб побудувати залежність величини від значень цієї ж величини в інші моменти часу $Z_{j-k} = y(t_{j-k})$. Завдання полягає в знаходженні або визначенні наступної функції:

$$\Phi = \Phi(z_j, z_{j+1}, \dots, z_{j+m-1}),$$

яка б дозволяла прогнозувати значення z_{j+m} [2].

На рис. 3 зображено фазовий простір розмірності 2 для ЧР цін на нафту з 20.05.1987 по 20.04.2010 рр.

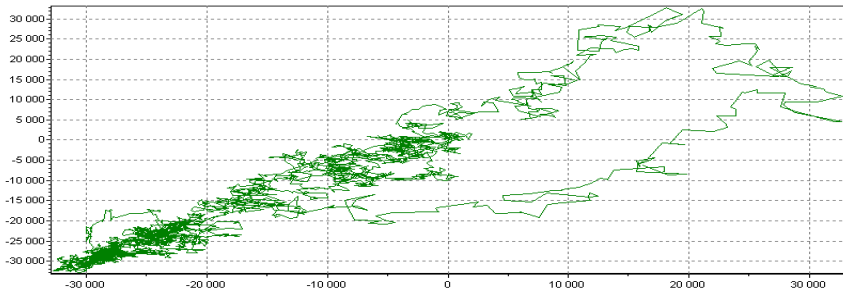


Рис. 3. Фазовий простір ЧР цін на нафту з 20.05.1987 по 20.04.2010 рр.

Як видно з рисунка ціни на нафту мали тенденцію до зростання. Більшість точок зосереджуються в обмеженій області простору.

Особливості глобальної економічної динаміки виявляються у виділенні в ЧР структурних компонент.

Розкладання фазової траєкторії на квазіцикли в істотній мірі ґрунтується на візуалізації графічного представлення фрагментів даної фазової траєкторії. При цьому береться до уваги напрям обертання «за» або «проти»

годинникової стрілки ланок, що сполучають сусідні точки, (x_i, x_{i+1}) , (x_{i+1}, x_{i+2}) фрагмента даної фазової траєкторії, що візуалізується [2].

Визначення терміну «квазіцикл» в деякому розумінні близький до визначення загальноприйнятого поняття «цикл». Відмінність між цими двома поняттями полягає в тому, що початкова і кінцева точки квазіциклу не обов'язково повинні співпадати. Кінцева точка квазіциклу визначається її входженням в околицю початкової точки. При цьому допускається самоперетин початкової і кінцевої ланок квазіциклу, якщо це приводить до найкращого зближення його початкової і кінцевої точок.

Для виявлення певної тенденції квазіцикли будувалися для місячних цін на нафту на основі фазового портрета місячних цін нафту (рис. 4).

Для побудови квазіциклів було використано наступне правило: кінцева точка квазіциклу визначається або першим самоперетином її ланки з якою-небудь з попередніх ланок, або достатньо близькою відстанню до початкової точки цього квазіциклу [2].

Фазова траєкторія ЧР цін на нафту складається з 48 квазіциклів $C_k, k = 1, 2, \dots, 48$, при чому квазіцикл C_{48} - незавершений. Розмірність L_k квазіциклів представлена в табл. 1 (L_k - кількість точок, які визначаються координатами (z_i, z_{i+1}) в квазіциклі C_k).

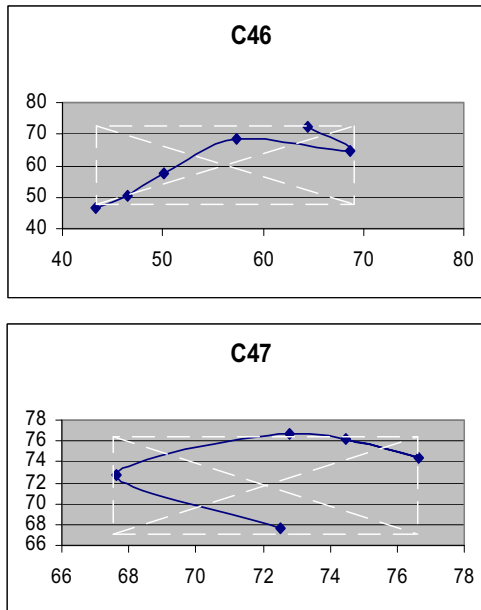
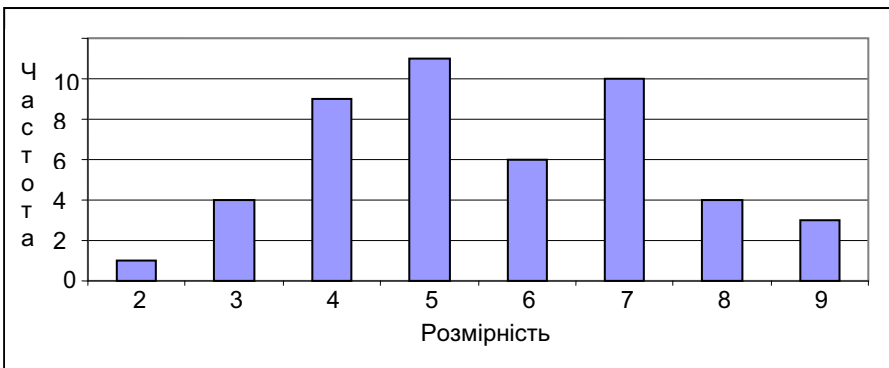


Рис. 4. Фрагмент розкладання на квазіцикли ЧР цін на нафту за травень - липень 2009 р.

Розмірність квазіциклів

Квазіцикл	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
Розмірність	5	7	8	6	5	7	9	5	6	7	8	5
Квазіцикл	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24
Розмірність	4	7	5	7	3	7	4	5	3	9	5	4
Квазіцикл	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36
Розмірність	7	7	3	3	4	6	5	4	5	8	4	7
Квазіцикл	C37	C38	C39	C40	C41	C42	C43	C44	C45	C46	C47	C48
Розмірність	4	6	7	6	5	8	4	9	4	6	5	2

Рис. 5. Частота $N(L)$ появи квазіциклів розмірності L ЧР цін на нафту

Для наочності на рис. 5 подана гістограма, яка відображає частоту появи квазіциклів в спостережуваному ЧР, де $N(L)$ - це кількість квазіциклів в фазовому портреті $\Phi_2(Z)$, що розглядається.

Для кожного квазіциклу Cr був побудований габаритний прямокутник квазіциклу Cr . Через точки квазіциклу з максимальним і мінімальним значенням абсиси (ординати) проводяться прямі, перпендикулярні осі ординат (абсис). Перетин двох отриманих пар паралельних прямих утворює габаритний прямокутник квазіциклу Cr . Габаритний прямокутник - це мінімальна опукла оболонка квазіциклу Cr , яка є прямокутником із сторонами, які паралельні осям координат. Центр обертання квазіциклу Cr утворюється внаслідок перетину діагоналей габаритного прямокутника. Координати центру обертання квазіциклу позначають $Cr(xr, yr)$.

Центри квазіциклів $Cr(xr, yr)$, в порядку їх нумерації r еволюціонують по певній траєкторії, точки якої розташовані в достатньо вузькій околиці бісектриси декартових координат (рис. 6).

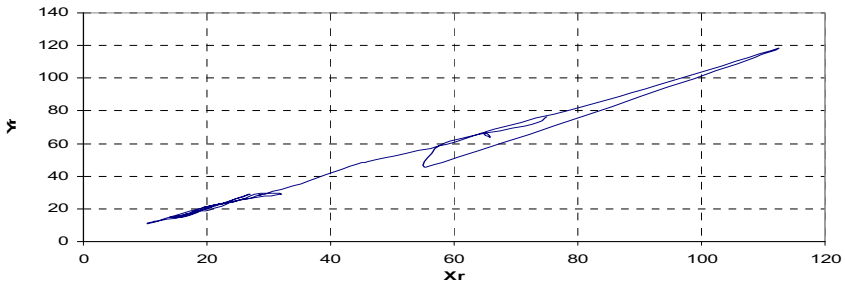


Рис.6. Траєкторія еволюції центрів квазіциклів ЧР

Часовому ряду, що розглядався, властива швидше середньострокова (5-7 місяців), а не довгострокова пам'ять. Тому не має досить вагомих підстав стверджувати про слабку трендостійкість ЧР місячних цін на нафту.

Для прогнозування використовувався локальний метод. Для цього в кінці часового ряду обирався відрізок, завдовжки 6 спостережень. Перші 3 з них вважалися останніми спостереженнями за системою, по яких необхідно будувати прогноз, а останні 3 використовувалися для перевірки того, наскільки виправдався побудований прогноз. Рухаючись від кінця ряду до початку, шукалася близька траєкторія, тобто 3 значення ряду, максимально близькі до виділених. Після знаходження такого фрагмента ряду наступні 3 значення використовувалися як прогноз.

При прогнозуванні світової ціни на нафту автори використовували ЧР місячних цін на нафту. Дані за травень – серпень 2009 року утворюють квазіцикл С46. Останні спостереження за системою, по яких будувався прогноз, відповідають 1, 2, 3, ланці квазіциклу С46. Для прогнозу використовувались четверта, п'ята ланки квазіциклу С46 і перша ланка квазіциклу С47. Також була врахована та обставина, що ми мали незакінчений квазіцикл С48 (лютий - березень 2010 р.). На основі вищесказаного був зроблений висновок, що ціни в квітні і червні будуть зростати, а в травні спостерігатиметься тенденція до спаду(табл. 2).

У розкладанні фазового простору ЧР містились ланки з напрямом обертання проти годинникової стрілки. Відзначимо, що в загальній кількості 223 ланок всіх 48 квазіциклів, Ck , $k=1,48$ сумарне число 41 ланки, що обертається проти годинникової стрілки, склало 18,4%. Звідси (з точки зору передпрогнозного аналізу) отримали, що у разі використання результатів фазового аналізу в процесі прогнозного моделювання ймовірність «не вгадати» напрям обертання ланки прогнозованого квазіциклу не перевищить 0,184.

Результати прогнозування цін на нафту

Дата	ЧР	Прогнозні значення
травень 2009	57,3	72,77
червень 2009	68,61	76,66
липень 2009	64,44	74,46
серпень 2009	72,51	76,17
вересень 2009	67,65	73,75
жовтень 2009	72,77	78,83
листопад 2009	76,66	
грудень 2009	74,46	
січень 2010	76,17	
лютий 2010	73,75	
березень 2010	78,83	
квітень 2010		зрост.
травень 2010		спад.
червень 2010		зрост.

На момент оформлення статті авторам були відомі ціни на нафту за період, на який робився прогноз. Прогнозована тенденція на квітень – червень 2010 р співпала з реальною.

В подальшому автори статті планують в певній мірі поглибити теоретичні аспекти передпрогнозного квазіциклічного аналізу, зробити змістовний аналіз траєкторій дрейфу центрів визначених квазіциклів світової ціни на нафту, а також траєкторій дрейфів півпериметрів вказаних квазіциклів, ґрунтовно вивчити коректність застосування методу «реконструкція атрактора» для прогнозування ЧР зі складною локальною будовою, вивчити наявність властивостей самоподібності і самоафіності в цих часових рядах.

1. Безручко Б.П., Смирнов Д.А. Математическое моделирование и хаотические временные ряды. - Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 2005. - 320 с.
2. Болотова Л.Р. Математические методы статистики и нелинейной динамики для оценки валютных рисков на базе предпрогнозного анализа: Автореф. дис. канд. экономических наук.- Ставрополь, 2005.- 155 с.
3. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков. Применение теории хаоса в инвестициях и экономике. - Интернет-трейдинг», 2004. – 304с.
4. Петерс Э. Хаос и порядок на рынках капитала. Новый аналитический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка: Пер. с англ. – М.: Мир. 2000. – 333 с.
5. World Oil Market and Oil Price Chronologies: 1970–2004. US DOE/EIA, 2005. <http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/chron.html>
6. Интернет-ресурс: www.chaos.santefe.edu

Поступила 29.09.2010р.