

В.Є. Білозьоров, І.О. Болілий

## ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ХВИЛЬ ЕЛІОТА ТА РЕКУРЕНТНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІНИ НАФТИ МАРКИ WTI НА СВІТОВИХ РИНКАХ

*Анотація.* В роботі досліджуються два підходи до прогнозування ціноутворення нафти марки WTI на світових ринках: хвилі Еліота та рекурентний аналіз. Продемонстровано розбіжність між прогнозами, що ґрунтуються на кожному з цих методів, які викликані зовнішніми факторами.

*Ключові слова:* хвилі Еліота, рекурентний аналіз, ціна, фрактал, часовий ряд.

**Вступ.** Задача прогнозування цін на основні товари, які виготовляються світовими виробниками, була важлива у будь-які часи. Одним з таких товарів є нафта. В умовах відкритого ринку та посилення глобалізаційних процесів стабільне функціонування нафтодобувної промисловості залежить від стабільної ціни на світових ринках (без різких перепадів та стрибків). Тому якісний та кількісний аналіз ціноутворення у нафтовій галузі є однією з важливих задач сучасної прикладної нелінійної динаміки, яка повинна розробляти такі моделі цінової поведінки, завдяки яким в нафтовій галузі були б можливі довгострокові прогнози. Одним з методів такого прогнозування є часовий ряд [1], який представляє собою послідовність числових даних проіндексованих в хронологічному порядку через рівні інтервали часу (часова відстань вимірювалась в днях):  $x_1 = x(t_1), x_2 = x(t_2), \dots, x_n = x(t_n); t_{i+1} - t_i = t_{k+1} - t_k$ .

Розглядається задача прогнозування цін на нафту марки WTI [2]. Часовий ряд  $x_i, i = 1, \dots, n$ , представляє собою ціну одного бареля нафти, яка фіксувалась кожний день, починаючи з 1-го січня 1990 року до 1 жовтня 2017 року. Всього було знято 7089 вимірювань.

На даний момент існує більше ста методів та моделей прогнозування часових рядів. Ми зупинимося тільки на двох із них: методи

хвиль Еліота та методи побудови так званих рекурентних діаграм [3,4].

**Хвилі Еліота.** Теорія хвиль Еліота – це комплекс знань і тверджень, які націлені на опис поведінки сукупності всіх гравців фінансового ринку [3]. Ця поведінка проявляється в утворенні ціни того або іншого товару через призму хвильового руху (термін «хвиля» розуміється у звичайному сенсі).

Ключова теза теорії Еліота полягає в наступному: рух ціни деякого товару можна представити у вигляді фрактальної восьми-ступінчастої хвилі, яка є графічним відображенням частки часового ряду, що описує поведінку ціни цього товару. Головна задача полягає в тому, щоб виявити ці хвилі на конкретному графіку. Виділяється два основні типи хвиль: хвилі імпульсу та хвилі корекції.

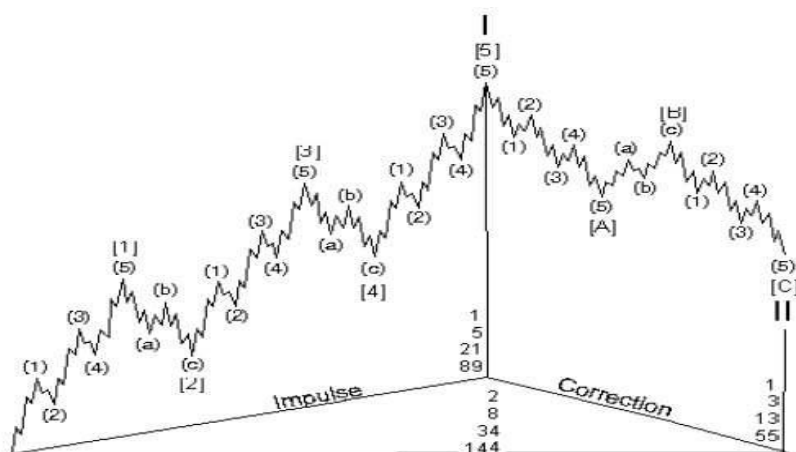


Рисунок 1 - Повний ринковий цикл

На рис.1 наведено повний ринковий цикл за Еліотом. Продемонстровано зовнішній вигляд і кількість хвиль на кожному з трьох рівнів. Класична восьми-ступінчата хвиля позначена як [1]-[2]-[3]-[4]-[5]-[A]-[B]-[C]. Наведемо деякі означення: хвилі імпульсу направлені в тому ж напрямку, що хвилі одним рівнем вище ([1]-[3]-[5]-[A]-[C]), а хвилі корекції направлені в протилежному напрямку, що хвилі одним рівнем вище ([2]-[4]-[B]). В основі теорії Еліота лежить принцип чисел Фібоначі. Як відомо, числа Фібоначі -- це послідовність, яка починається з простої одиниці і триває шляхом додавання попереднього числа наступним чином:  $0 + 1 = 1$ ,  $1 + 1 = 2$ ,  $2 + 1 = 3$ ,  $3 + 2 = 5$ ,  $5 + 3 = 8$ ,  $8 + 5 = 13$ ,  $13 + 8 = 21$ ,  $21 + 13 = 34$ ,  $34 + 21 = 55$ ,  $55 + 34 = 89$  і т.д. Така послідовність має деякі характерні особливості:

- починаючи з деякого значення, співвідношення даного числа до наступного числа серії Фібоначі дорівнює 0.618 (наприклад, маємо  $34/55 \approx 0.618$ );

- починаючи з деякого значення, співвідношення даного числа до попереднього числа серії Фібоначі дорівнює 1.618 (наприклад, маємо  $55/34 \approx 1.618$ );

- для достатньо великого натурального k числа Фібоначі  $f_k$  та  $f_{k+2}$  задовольняють умову:  $f_{k+2}/f_k \approx 0.382$  (наприклад,  $34/89 \approx 0.382$ ).

Хвилі імпульсу прагнуть до співвідношення згідно математики Фібоначі - або бути рівними, або в пропорціях 1.618 і 2.618 (чиї інверсії рівні 0.618 і 0.382). Такі співвідношення імпульсних хвиль зазвичай виконуються в процентних величинах. Корекція -- це зміна в цінах, яка простежує етапи попередніх змін. Зазвичай ринок відстежується в одному з трьох рівнів Фібоначі - 38.2%, 50%, та 61.8% [3]. Корекція цін по Фібоначі визначається основними мінімальними і максимальними коливаннями, які встановлюють рівень підтримки (рівні можна вважати точками розвороту, коли ціна розвертається вона створює новий рівень підтримки) як тільки ринок відступає від максимуму.

Сам Еліот, визначав існування 9 різних рівнів хвиль. Таким чином, одна з перших проблем, що виникають при дослідженні часових рядів це точка відліку. З якого моменту шукати початок нової хвилі або іншої структури описаної Еліотом?

У прикладному дослідженні нафтових цін ця проблема стояла також. На першому етапі відбувались спроби описати падіння цін на нафту в липні 2014 року в рамки теорії Еліота. На даний момент (2017 рік), спроби застосувати методи описані Еліотом до цього різкого падіння, що склало близько 110 доларів США, тривають.

З огляду на подальший розвиток цін (після липня 2014 року) вдалось виявити структуру, що носить назву «трикутник». Трикутники містять в собі п'ять хвиль, що перекривають одна одну, які в, свою чергу, поділяються на моделі 3-3-3-3-3. На 5 липня 2017 року трикутник був незавершений і мав наступний вигляд:



Рисунок 2 - Графік цінової хвилі для нафти WTI  
з липня 2014 по липень 2017

Подібні утворення свідчать про продовження падіння цін після закінчення трикутника. Глобальною метою подальшого прогнозування було виявити кінець трикутника і кінець хвилі (e), а також локально дати прогноз на невеликий обсяг часу. Було висунуто припущення про рух нової хвилі, що матиме структуру [A]-[B]-[C], а саме що кінець хвилі [A], яка зростає і є незавершеною на графіку наведеному вище, знаходитиметься на рівні 47\$. На момент прогнозу ціна складала 46\$. Після цього, у відповідності до обраної структури, мало відбутись падіння. Це падіння завершувало б хвилю [B] і мало б носити незначний, корекційний характер.

Як і прогнозувалось, 5 липня 2017 ціна досягла локального максимуму у 47.15\$, таким чином, завершивши зростання. Протягом наступних п'ять днів ціна впала до прогнозованого значення у 44 -- 44.5\$, що видно на наступному рисунку 3:

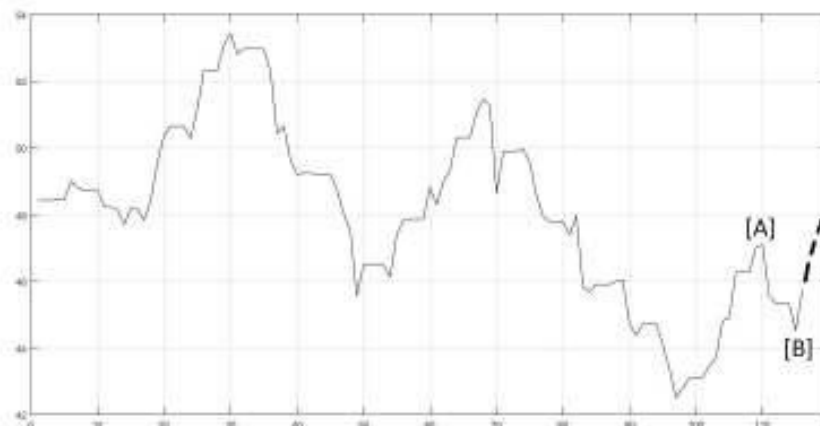


Рисунок 3 - Падіння ціни на нафту марки WTI  
всередині липня 2017 року

Наступна гіпотеза випливає з міркувань того, що кінець хвилі [С] завжди має перекривати рівень на якому завершилось формування хвилі [А]. Попередній прогноз подавався на рівні 48.0 -- 48.5\$.

Формування заданого тренду продовжувалось до 25 липня 2017, після чого ціна суттєво перевищила заданий поріг : якщо попередні прогнози розходились з реальним значенням менше ніж на 50 центів США, то нова різниця перевищувала значення у один долар. Впродовж днів, що передували виникненню подібної ситуації, поведінка цін залишалась принципово не зрозумілою.

Досягши в кінці липня позначки у 50.17\$, ціна почала незначним чином коливатись біля позначки 49\$, що видно на наступному графіку (рис. 4). Така поведінка дозволила виділити точку максимуму як потенційну вершину [С]:

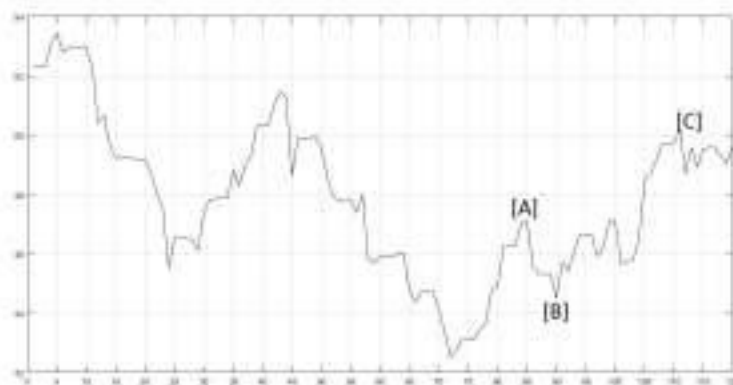


Рисунок 4 - Коливання ціни на нафту марки WTI наприкінці липня 2017 року

Таким чином, вдалось вирішити локальну задачу прогнозування цін на нафту на невеликий період. Прогнози давались періодично протягом місяця, що дозволило вдало виокремити тренди поведінки ціни.

**Метод рекурентних діаграм.** Теорія рекурентних діаграм ґрунтується на теоремах Такенса та Пуанкаре [4 -- 6], які дозволяють досліджувати динамічні процеси та встановлювати закономірності в їх поведінці.

Нехай точка  $x(i)$  відповідає  $i$ -й точці фазової траєкторії, що описує динамічну систему у  $m$ -вимірному просторі;  $i = 1, 2, \dots, n$ . Тоді рекурентний графік є 2-вимірний масив точок, у якому елемент с координатами  $(i, j)$  означає, що точка  $x(j)$  розташована достатньо близько до точки  $x(i)$ .

Рекурентність стану в момент  $i$  при різних значеннях часу  $j$  відтворюється в квадратній матриці з чорними та білими точками, де чорні точки вказують на наявність рекурентності (близькості траєкторій), а по обом координатним вісям відкладається час. Таке представлення називається рекурентною діаграмою. Математично це може бути визначено наступним чином:

$$R_{i,j} = \Theta(\varepsilon_i - \|x_i - x_j\|), x_i \in R^m, i, j = 1, 2, \dots, N$$

де  $N$  – кількість розглянутих станів  $x_i$ ,  $\varepsilon_i$  – гранична відстань або відстань від центра вибранного околу (точка  $x(i)$ ) до її границі,  $\|\cdot\|$  – евклідова норма,  $\Theta(\cdot)$  – функція Хевісайда.

За своєю суттю такі діаграми є графічним інструментом. На кожній з таких діаграм є структурні особливості, які дозволяють віднести цю діаграму до того чи іншого класу.

Одним з таких класів є текстури [1]. До основних видів текстур відносять точки та діагональні лінії та області їх скупчення. Діагональні лінії відповідають тій ситуації, коли деяка частина фазової траєкторії проходить паралельно іншій фазовій траєкторії. Довжина діагональних ліній показує еволюцію процесу, що проходить в даній області. Маючи набір діагональних ліній в даний момент часу можна прогнозувати, що буде з даною траєкторією в наступні моменти часу. Якщо лінії перпендикулярні головній діагоналі, то їх розвиток протилежний і часта поява перпендикулярних ліній характеризує хаотичний процес. Області скупчення відповідають інтервалам часу протягом якого стан системи не змінюються або змінюються незначно.

Головне призначення рекурентного аналізу виявляти біфуркаційні точки, а також моменти переходу із стану порядку в стан хаосу. Для того, щоб розрізняти біфуркаційні точки на рекурентних діаграмах використовують поняття щільності вершин і горизонтальних структур.

Міра рекурентності показує щільність рекурентних точок, що попадають в область повернення. Довжина діагональних ліній – число діагональних ліній, що паралельні головній діагоналі графіка. Чим більше значення такого числа – тим більшу повторюваність має процес. Тобто, при великій кількості діагональних ліній процес прогнозується легко. Довжина діагональних ліній показує моменти коли траєкторія фазового процесу проходить близько до іншої ділянки. Це дозволяє ви-

значити середній час за який дві ділянки проходять поблизу одна одної. (Відмітимо, що основна діагональ  $R_{i,j} = 1$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) складається тільки з чорних точок і називається лінією тотожності. Слід зауважити, що окремі рекурентні точки  $(i, j)$  не несуть ніякої інформації про стани в моменти  $i$  та  $j$ . Однак, множина всіх таких точок дозволяє реконструювати властивості процесу.)

На практиці неможливо знайти моменти  $i$  та  $j$  такі, що  $x_i \equiv x_j$ . У зв'язку з цим стан  $x_i$  зветься рекурентним стану  $x_j$ , якщо ці стани є достатньо близькими один до одного.

Так як складні системи мають багато компонент і їх поведінка визначається великою кількістю взаємодій, то в нелінійному рекурентному аналізі вводиться вимірність простору вкладення ( $m$ ) та запізнення в часі ( $\tau$ ) [1].

**Рекурентний аналіз.** Для побудови рекурентних діаграм та їх числового аналізу використовується програмне забезпечення в середовищі MatLab.

Оскільки в попередньому методі прогноз ґрунтувався не на всьому часовому ряді зміни цін нафти марки WTI, побудуємо рекурентну діаграму для того ж відрізка часу, а саме починаючи з 2015 року і закінчуючи вереснем 2017 року (усього 1176 значень, де кожне значення відповідає ціні на барель нафти в конкретний день). Для початку необхідно визначити розмірність простору вкладення в якому протікає процес. Розрахунок продемонстровано на наступному рис.5:

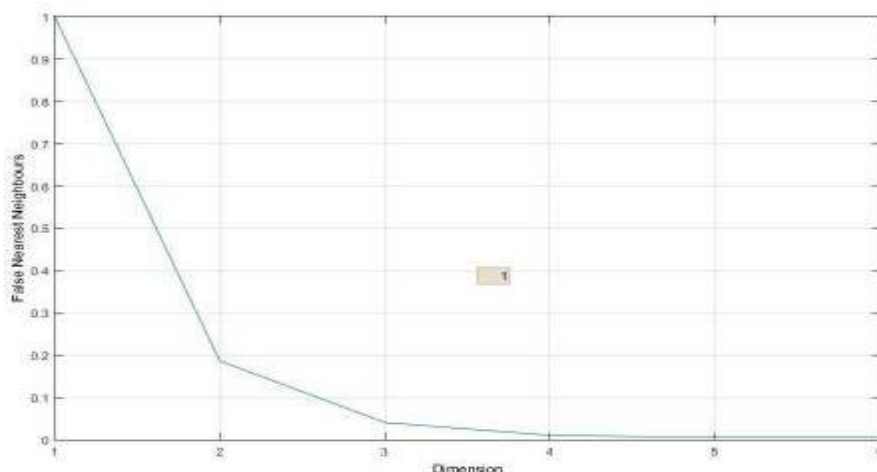


Рисунок 5 - Вимірність простору станів у якому проходить процес ціноутворення

Таким чином, найбільш ймовірно, що розмірність простору, в якому протікає процес, що описується отриманим часовим рядом, дорівнює трьом. Наступним кроком, що передуює побудові рекурентних діаграм, є визначення часу запізнення. Він визначався наступним чином:

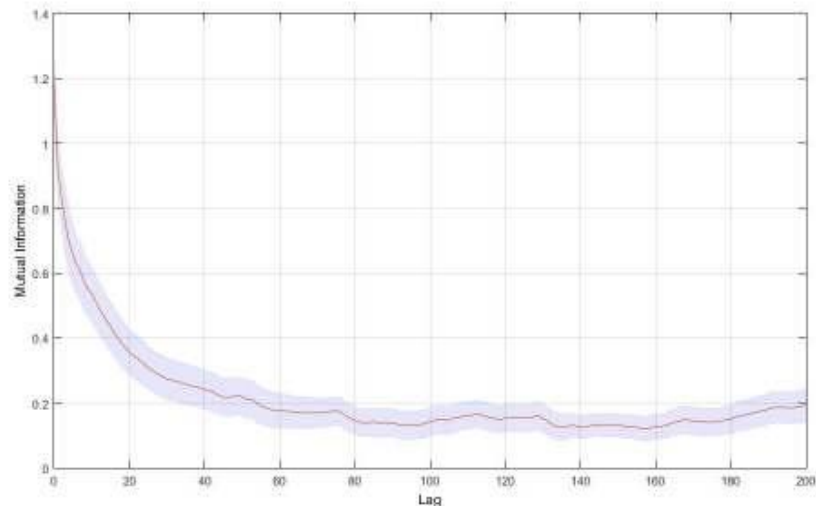


Рисунок 6 - Визначення оптимального часу запізнення

Як можна спостерігати на рисунку 6, показник запізнення складає, приблизно, 136 (це точка мінімуму). Виходячи з того, що сам часовий ряд складає 1176 елементів, прогнозування за таким часовим рядом не є ґрунтовним. Сама рекурентна діаграма, побудована з показником розмірності простору 3 та показником запізнення 136 має наступний вигляд:

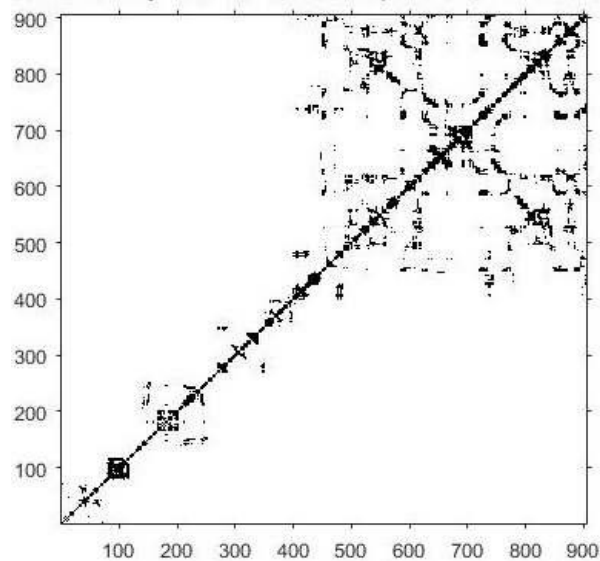


Рисунок 7 - Рекурентна діаграма, яка побудована для ряду з 1176 елементів



На самій діаграмі спостерігається мала кількість діагональних ліній, що як зазначалось вище, свідчить про слабку повторюваність процесу. Натомість, якщо розглядати відрізок часу, що передує попередньому випадку, а саме серпень 1990 – грудень 2013 років, то ситуація має інший характер. На першому кроці було визначено розмірність фазового простору, значення якої дорівнювало трьом (аналогічно рис. 5).

На наступному етапі було визначено час запізнення, за допомогою методу наведеним на рис.6. За допомогою графіка визначено, що час запізнення складає 35. Цей параметр і розмірність простору було використано для побудови рекурентної діаграми (рисунок 8):

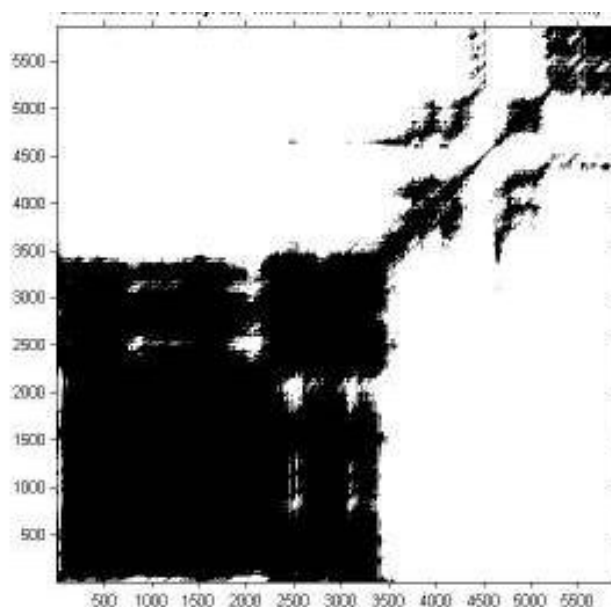


Рисунок 8 - Рекурентна діаграма, яка побудована для ряду з 5946 елементів

Така діаграма демонструє значну кількість і довжину діагональних ліній, особливо в період з літа 2011 року до літа 2013 року.

### Висновки

1. З огляду на поточну ситуацію на ринку енергоносіїв [7], а також спираючись на результати продемонстровані на рис. 7, можна зробити висновок, що станом на сьогодні подальше прогнозування є передчасним. За умови більш стабільної поведінки ринку, варто було очікувати за станом на листопад-початок грудня стрімке зменшення вартості барелю нафти до рівня менше ніж \$40.

2. Наведено методику прикладного застосування хвиль Еліота у прогнозуванні процесів утворення цін на нафту.

3. Продемонстровано зручність апарату рекурентних діаграм для прогнозування поведінки складних нелінійних процесів.

4. Виявлено суттєві розбіжності у питанні прогнозування цін в період між 2014 та 2017 роками. Інструментарію Еліота, що надавав таку можливість, протиставлено метод рекурентних діаграм. Результати, виявлені в процесі підготовки до побудов рекурентних діаграм унеможливають будь-який прогноз.

5. Наведено діаграму для часового ряду цін нафту до 2013 року, який вважаємо «чистим» часовим рядом, тобто, без впливу політичних моментів. Прогнозованість такого часового ряду можна визначити як посередню.

6. Необхідні подальші дослідження часового ряду з точки зору принципів Еліота.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Владимирский Э. И., Исмаилов Б. И. Синергетические методы управления хаотическими системами. Баку. -- Изд-во "ELM". -- 2011. -- 240с.
2. Динамика цены нефти WTI. Динамика изменения стоимости нефти WTI за 1983-2017 гг. История изменения стоимости барреля нефти WTI по дням. <https://www.calc.ru/dinamika-Wti.html>
3. Frost A.J., Precheter R. Comprehensive Course on the Wave Principle. USA. – ISBN: 978-1-61604-049-9. – 2005. – 257с.
4. Белозёров В. Е., Зайцев В. Г. Нелинейный рекурентный анализ в обработке временных рядов. Региональный межвузовский сборник «Системные технологии», -- Вып. 3 (92) 2014. -- С. 42-49.
5. Белозеров В. Е., Зайцев В. Г. Влияние порога рекурентности и параметра запаздывания временного ряда на информативность его рекурентной диаграммы (на примерах хаотических аттракторов). -- В книге: "Системные технологии моделирования сложных процессов". – Изд-во НметАУ. -- ИВК "Системные технологии". -- 2016. – С.67 – 90.
6. Marwan N., Romano M. C., Thiel M., Kurths J. Recurrence plots for the analysis of complex systems. Physics Reports, 438, 2007. – p. 237-339.
7. Ціни на нафту. <https://www.epravda.com.ua/news/2017/10/9/629899/>