УДК 681.5.01:664.1

АНАЛІЗ СТАНЦІЇ ДЕФЕКОСАТУРАЦІЇ ЯК ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ ІЗ ДЖОКЕРОМ МЕТОДОМ ГРАФІЧНОГО ТЕСТУ

В.І. Заїка
Аспірант*
Контактний тел.: 066-210-12-68
E-mail: zaikavladimir@gmail.com

В.Д. Кишенько
Кандидат технічних наук, доцент*
Контактний тел.: (044)287-94-56, 050-696-54-11
E-mail: aspirants@ukr.net
*Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет харчових технологій
вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01033

В статті пропонується застосування методу графічного тесту для аналізу динамічних систем із джокером, який дозволяє із спостережень за часовим рядом системи визначити наявність джокера і його тип

Ключові слова: русла, системи з джокером, графічний тест, метод Гілмора

В статье предлагается использование метода графического теста для анализа динамических систем с джокером, который позволяет из наблюдений за временным рядом системы определить наличие джокера и его тип

Ключевые слова: русла, системы с джокером, графический тест, метод Гилмора

The article proposes the use of the graphical test for the analysis of dynamical systems with a joker, which allows observation of the time series of the system to determine the presence of a joker and its type

Key words: bed, systems with a joker, a graphical test method Gilmore

1. Вступ

Відомо багато способів очищення дифузійного соку в цукровому виробництві, але на практиці знайшли поширення тільки найбільш ефективні і дешеві, таким є спосіб обробки дифузійного соку вапном (дефекація) з наступним видаленням її надлишку диоксидом вуглецю (сатурація). При простоті технологічних операцій і дешевизні реагентів цей спосіб дає добрий ефект очищення, а сахарози при цьому руйнується дуже мало.

Підтримання технологічних параметрів станції дефекосатурації на оптимальних значеннях в умовах, що характеризуються віддаленістю від стану термодинамічної рівноваги та утворенням дисипативних просторово – часових структур, дає нам право дане відділення цукрового виробництва досліджувати методами нелінійної динаміки.

Пропонується дослідження станції дефекосатурації методом графічного тесту Гілмора для аналізу нелінійних динамічних систем із хаотичною поведінкою, який дозволяє за часовими рядами спостережень системи визначити наявність русел і джокерів, а також їх типи.

2. Визначення динамічних систем із джокером

Останнім часом для моделювання поведінки складних систем запропоновано новий клас моделей – динамічні системи із джокером [1–3].

Фазовий простір такої системи складається із двох областей – області русел G, поведінка в якій визначається відображенням $x_n=f(x_{n-1})$ (змінна x представляє собою вектор) і області J – області джокера, при цьому задане правило, за яким система із точки $x_{n-1} \in J$ попадає в точку x_n. Залежно від розмірності області J і заданого правила джокери можна класифікувати як одномірні і k - мірні (k менше або дорівнює розмірності фазового простору), а також як точкові і інтервальні.

Введення джокера в динамічну систему істотно міняє її поведінку і, як наслідок, числові характеристики хаотичності , такі як фрактальна розмірність, максимальний показник Ляпунова, ентропія Колмогорова та ін.

У процесі застосування методів теорії детермінованого хаосу до аналізу поведінки складних систем, зокрема технологічних процесів виробництва, дослідникові доступна інформація про поведінку системи у вигляді часового ряду. Для того щоб визначити, чи є досліджувана система нелінійною детермінованою системою, фазовий простір якої містить атрактор, за значеннями часового ряду обчислюються показники фрактальної розмірності, максимального показника Ляпунова та інші. Якщо в системі присутній джокер, то застосування стандартних алгоритмів одержання цих оцінок приведе до помилкових результатів. У такий спосіб питання про розробку тестів, що дозволяють виявити присутність джокера в системі за історичними даними, стає надзвичайно актуальним [3].

Спроби відповісти на це питання, розпочаті в [2], носять характер негативних результатів: висунута гіпотеза, що в системах із джокером неможлива реконструкція атрактора, що за історичними даними неможливо одержати кількісні оцінки таких характеристик, як розмірність Хаусдорфа-Безиковича, максимальний показник Ляпунова та інші.

Пропонується розглядати ряд непрямих ознак присутності джокера в системі, такі як неправильна послідовність циклів при збільшенні параметра, наявність розривів у відображенні, переміжність і вплив початкових даних.

На жаль, всі ці ознаки (крім розривів у відображенні), можна виявити тільки у випадку, якщо можливі активні експерименти над системою. Розриви у відображенні можна виявити, побудувавши по даним часового ряду послідовність псевдофазового простору.

3. Графічний тест хаосу

Автори пропонують використовувати для аналізу присутності джокера в системі графічний тест хаосу, вперше викладений в [4]. Суть цього методу полягає в тому, що він виявляє нестійкі періодичні орбіти, вміщені в атракторі. Вихідним об'єктом для тесту є часовий ряд { x_i }. Якщо якесь спостереження x_i виявиться біля періодичної орбіти, то наступні спостереження будуть просуватися уздовж цієї орбіти в продовж деякого часу, поки не відійдуть від неї. Якщо спостереження просуваються уздовж орбіти значний час, то вони повернуться в околицю точки x_i через деякий інтервал часу T, де T вказує довжину орбіти. Це означає, що відстань $|x_i - x_{i+T}|$ буде мала. Далі x_{i+1} буде біля x_{i+1+T}, x_{i+2} буде біля x_{i+2+T} і так далі. Таким чином має сенс пошукати серії послідовних даних, для яких $|x_i - x_{i+T}|$ буде малим.

Для того, щоб виявити ці області "тісного повернення" у множини даних потрібно побудувати спеціальним чином розфарбований графік. Обчислити всі різниці $|x_i - x_{i+t}|$. Якщо різниця менше, ніж е, то це позначити чорною точкою на графіку, якщо ж більше, ніж е, позначити білим кольором. По горизонтальній осі відкладається номер спостереження і, де і = (1,2,..., N), а вертикальна вісь позначається через t , де t = (1,2,..., N - і). На наявність тісного повернення в даних вказують горизонтальні, діагональні або вертикальні відрізки прямих. У той час, якщо множина даних стохастична, виникне область рівномірно розподілених чорних точок.

Визначення відповідного значення е для заданої множини даних може бути виконане таким чином.

По-перше, обчислюється максимальна відстань між двома спостереженнями в множині.

По-друге, вибирають е рівне деякій малій частині цієї різниці (між 0.01 і 0.1) і будують графік "тісного повернення".

Якщо вибране е занадто мале, то на графіку буде недостатньо чорних точок, щоб ідентифікувати картину, що характеризує дані, коли е виявляється менше середньоквадратичного відхилення шуму, який присутній у даних, картинка руйнується повністю. Якщо е занадто велике, то картинка буде прихована, затінена чорними областями. Як тільки відповідне значення е визначене, буде достатній масив точок, які дозволять визначити тип зображення, породженого даними.

4. Виявлення джокера і визначення його типу за допомогою графічного тесту методом Гілмора

У залежності від специфіки вирішуваних задач, в яких використовуються джокери, вони можуть різнитися. Наприклад, в [6] описані наступні типи джокерів.

Джокер першого роду миттєво переводить систему в певну точку фазового простору. Типовий випадок спрацювання такого джокера - швидке руйнування системи.

Джокер другого роду при спрацьовуванні з імовірністю p1 переводить систему в деяку точку фазового простору A, і з імовірністю p2 - в точку B.

Джокер третього роду переводить систему в точку деякої області фазового простору відповідно із заданим законом розподілу ймовірності. Цей джокер можна розглядати як узагальнення джокерів першого і другого роду.

У роботі [7] описуються джокери на одновимірних відображеннях і вводиться інша класифікація. Наприклад, джокер першого роду називається точковим, другого роду - двохточковим, а третього роду – безперервним (інтервальним). Також розглядаються такі більш складні джокери з властивостями, що представляють собою різні комбінації властивостей безперервного і точкового джокерів.

Мерехтливий безперервний джокер представляє собою безперервний джокер, що спрацьовує з деякою, відмінною від 1, ймовірністю. Тобто, при попаданні точки в область джокера, наступний крок або (з ймовірністю p1) робиться відповідно до рівняння русла, або (з ймовірністю p2) відповідно до правила безперервного джокера. Даний тип джокерів добре підходить для імітації явища переміжності. Мерехтливий точковий джокер спрацьовує аналогічно мерехтливому безперервному джокеру, відповідно до імовірності правил поведінки.

Періодичний сигнал може бути виявлений за суцільними чорними лініями, що проходить вертикально, діагонально або горизонтально уздовж усього графіка через інтервали, певної періодичності вимірювань в одиницях часу спостережень. Квазіперіодичні орбіти (що складаються із двох частот) роблять зображення, схоже на карту, накреслену в горизонталях.

Для аналізу часових рядів історичних даних застосовували розроблену нами програму Gilmor's_ Test.exe. Досліджувались часові ряди змінювання ряду технологічних параметрів відділення сокоочистки цукрового заводу сезону цукроваріння 2005 року. Як приклад, наведені результати досліджень часового ряду витрати фільтрованого дифузійного соку із станції дефекосатурації. Аналіз результатів проведення графічного тесту Гілмора вказує на змінювання характеру хаотичної поведінки об'єкта

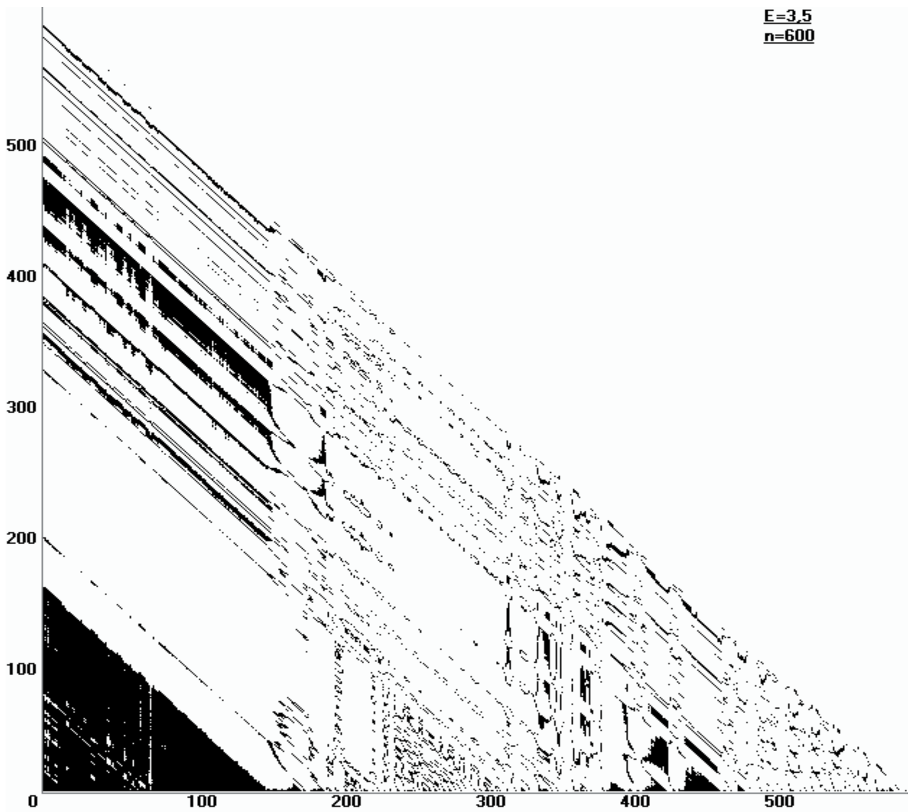

Рис. 1. Графічний тест хаосу витрати фільтрованого соку з станції дефекосатурації за 09.10.2005 при ε = 3,5 (точковий джокер та області пропусків відображення)

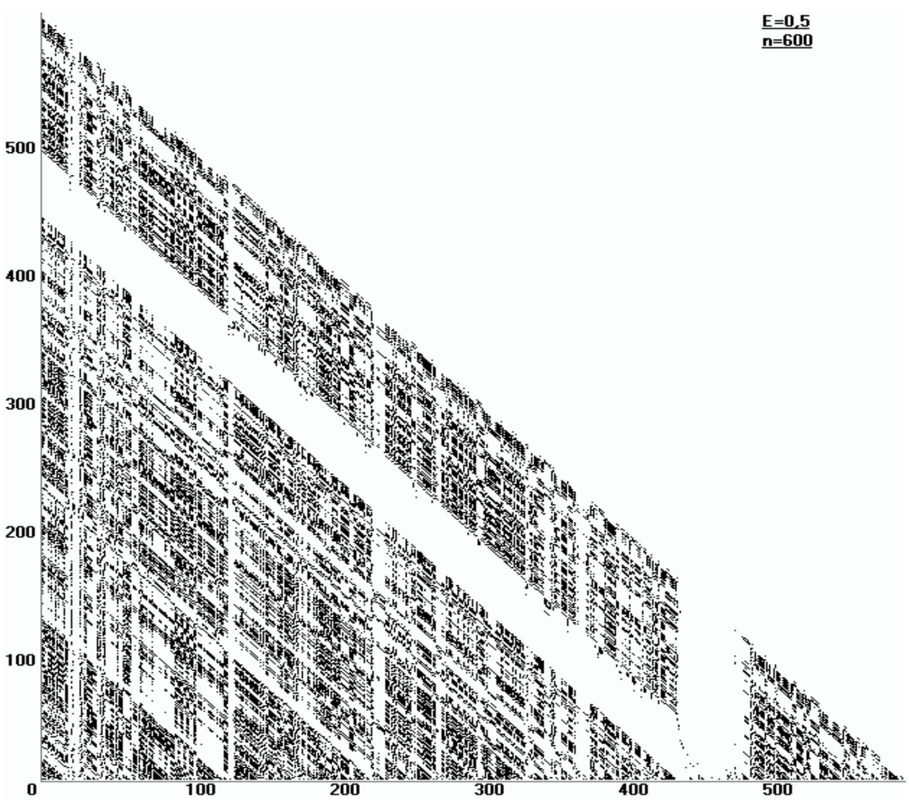

Рис. 2. Графічний тест хаосу витрати фільтрованого соку з станції дефекосатурації за 28.09.2005 при ε = 0,5 (інтервальний та точковий джокер)

в різні періоди сезону цукроваріння: спостерігається лабільність областей переміжності, варіація типів джокерів, змінюються періоди та частотний спектр циклів (рис. 1-3).

На рис. 1 видні характерні суцільні лінії, що свідчать про присутність у системі точкового джокера.

На рис. 2 представлено більш складну структуру - на ньому присутні «порожні» області, що не містять точок, і області з паралельними відрізками. Наявність «порожніх» областей свідчить про розриви у відображенні, а відрізки прямих - про «шумові» цикли, тобто ця картина характерна для систем з інтервальним джокером.

Додаткова інформація, що дозволяє одержати пропонований тест для систем із точковим джокером, міститься в довжині ряду спостережень, укладених між двома послідовними влученнями системи в джокер.

Слід зазначити, що аналіз систем [5] дозволяє зробити припущення, що найбільш часто зустрічаються саме точкові джокери. Але в роботі [4] наведені графіки "тісного повернення", які мають структуру, характерну для систем з інтервальним джокером.

Таким чином, запропонований метод дозволяє навіть для коротких рядів експериментальних даних (порядку 500-600 спостережень) виявити тип поведінки системи і зробити висновок про присутність джокера в системі, причому відрізнити точковий джокер від інтервального.

Слід зауважити, що кількість спостережень (вимірювань) технологічного параметра за добу може сягати 17000-20000.

На рис. 3 приведено тест хаосу для часового ряду, на якому чітко видно лише інтервальний джокер із наявними руслами складного частотного спектру.

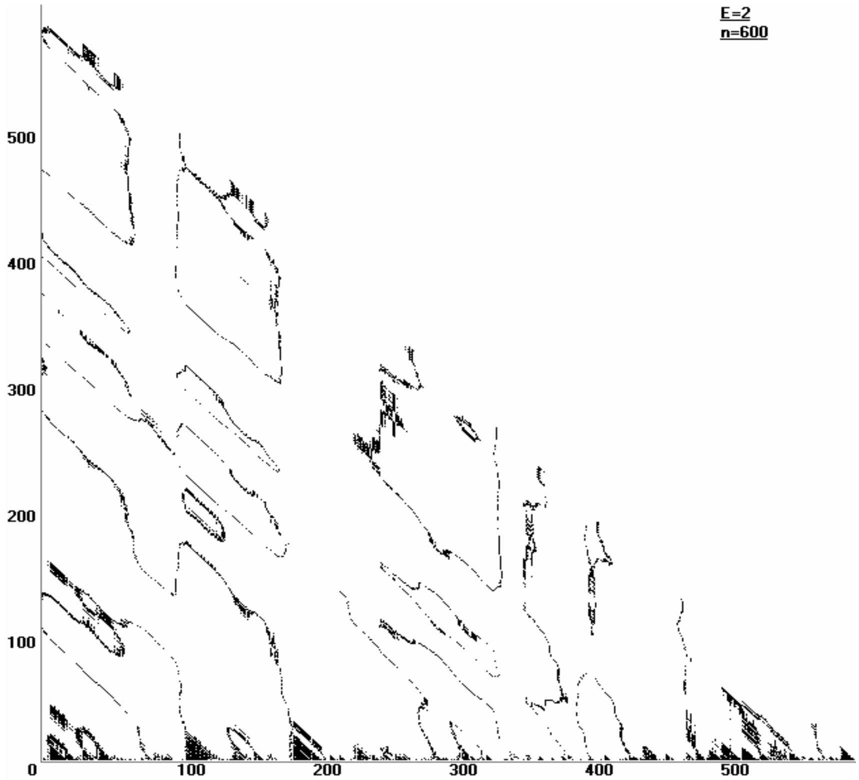

Рис. 3. Графічний тест хаосу витрати фільтрованого соку з станції дефекосатурації за 25.10.2005 при ε = 2 (інтервальний джокер)

5. Числові характеристики систем з джокером

Наступним питанням, яке виникає після виявлення джокера, є питання: чи не можна якимось чином «відокремити» джокер, тобто оцінити числові характеристики відображення, що діє в області G.

Для відповіді на це питання було проведено дослідження, результати якого коротко можна викласти таким чином:

- точковий джокер набагато сильніше змінює поведінку динамічної системи (як одномірної, так і n-мірної), тому для подальшого аналізу систем з точковим та інтервальним джокерами необхідно розробляти різні методи;

- для систем з точковим джокером визначальне значення має розмір області J, її розташування по відношенню до області G, а також значення x, в яке потрапляє система після джокера.

Всі ці фактори впливають на довжину послідовності спостережень між двома послідовними потрапляннями в джокер. Як правило, чим більше область J, тим коротше ця послідовність.

Якщо врахувати, що міра множини J повинна бути набагато менше міри множини G [2], можна сподіватися, що в ряді систем довжина цієї послідовності може досягати декількох сотень спостережень.

Якщо послідовність коротка, то ми фактично спостерігаємо циклічну поведінку, при цьому основний вплив на поведінку системи має джокер, а не відображення $x = f(x_{n-1})$, тому визначати характеристики цього відображення немає сенсу. Якщо ж послідовність довга, то можна використовувати відомі на сьогоднішній день методи оцінки числових характеристик дивного аттрактора за короткими рядами даних, наприклад, метод оцінки показників Ляпунова, описаний в [6].

Для систем з інтервальним джокером пропонується за рядом спостережень будувати псевдофазовий простір з метою виявлення, в якій області значень можна виділити зв'язану підмножину аттрактора. Якщо така область значень існує, то необхідно «відфільтрувати» з вихідного часового ряду спостережень, які потрапляють в цю область і по них обчислити оцінку розмірності атрактора. Так як дивний атрактор представляє собою самоподібну множину, а фрактальна розмірність є локальною характеристикою цієї множини, то оцінка розмірності, отримана для частини аттрактора, повинна збігатися з оцінкою для всього аттрактора.

Відновлення атракторів проводимо в програмному середовищі Matlab.

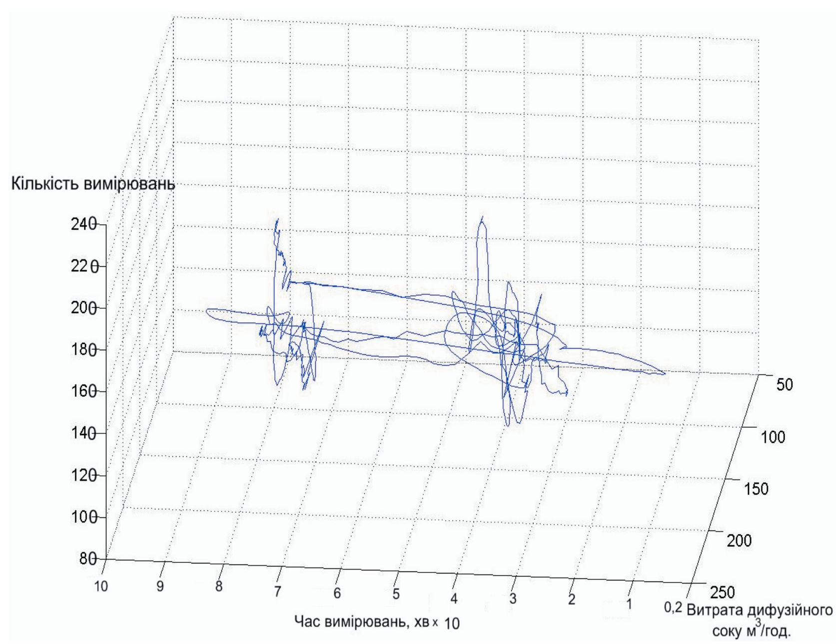

Рис.4. Відновлений атрактор із інтервальним джокером

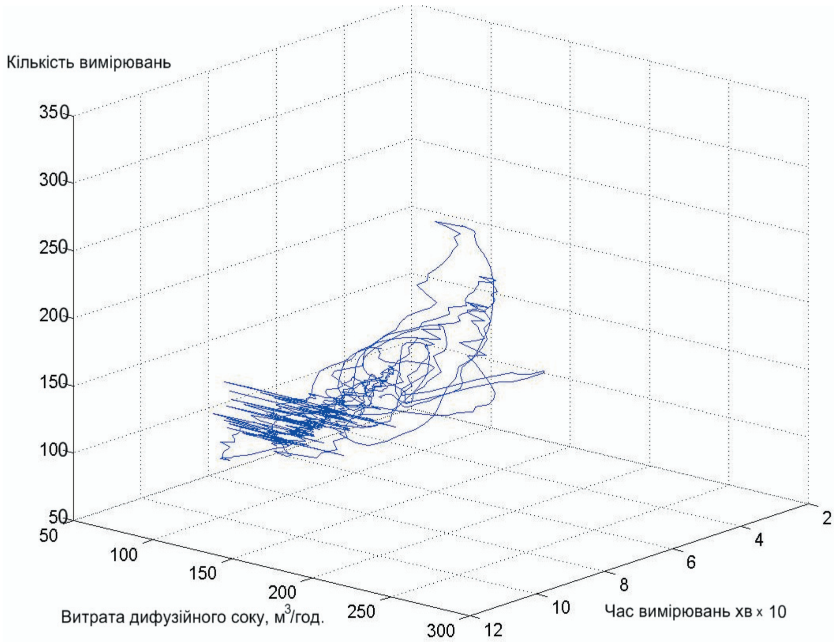

Рис.5. Відновлений атрактор із точковим джокером

Висновки

В статті запропоновано використання графічного тесту Гілмора для аналізу часових рядів роботи станції дефекосатурації як динамічної системи з джокером.

Застосовано класифікацію джокера в динамічних системах.

Проведено аналіз часових рядів історичних даних витрати фільтрованого соку з станції дефекосатурації, та класифіковано види джокерів, які присутні в часових рядах.

Проведено відновлення атракторів часових рядів динамічних систем з інтервальним та точковим джокерами.

Література

1. Капица, С.П. Синергетика и прогнозы будущего [Текст] : научное издание / РАН ; С. П. Капица, С. П. Курдюмов, Г. Г. Малинецкий ; [Редкол. : И. М. Макаров (пред.) и др.]. - М. : Наука, 1997. - 285 с.
2. Как обнаружить джокер в эксперименте [Текст] : сб. науч. тр. "Математика. Компьютер. Образование" / Под ред. Г. Ю. Ризниченко – Вып. 5. – Ч. II. – С. 17 – 31.
3. Проделки джокера на одномерном отображении [Текст] : сб. науч. тр. «Математика. Компьютер. Образование». Пущино. 29.01 – 3.02 1997 . – С. 24 – 31.
4. G. Claire. Gilmore (1993), A New Test for Chaos // Journal of Economic Behavior and Organization. – 1993. – 22 – pp. 209 – 237.
5. Анализ экономических временных рядов методами теории хаоса [Текст] : сб. науч. тр. «Статистический и прикладной анализ временных рядов» (SAATS – 97). – Брест – 1997. – С. 36 – 43.
6. Малинецкий, Г. Г. Джокеры, русла или поиски третьей парадигмы [Текст] : [Синтез наук. Междисциплинарные подходы в развитии науки] / Г. Г. Малинецкий, А. Потапов // Знание-сила. - 1998. - №3. - С. 19-35.
7. Белайчук, Л. В. Проделки джокеров на одномерных отображениях [Текст] : научное издание / Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН – 1997 – №24.