

Синергетичне керування технологічним комплексом цукрового заводу

В.Д. Кишенько, кандидат технічних наук, професор кафедри автоматизації та інтелектуальних систем керування, Національний університет харчових технологій

М.А. Сич, аспірант кафедри автоматизації та інтелектуальних систем керування, Національний університет харчових технологій

У статті розглядається проблема автоматизованого керування технологічним комплексом цукрового заводу в умовах утворення дисипативних просторово-часових структур хаотичного характеру в процесі його функціонування. Запропонований синергетичний підхід, оснований на врахуванні явищ самоорганізації складного об'єкта керування, який дозволяє у відповідності із його фізико-хімічною природою організувати ресурсощадні керувальні дії резонансного характеру, що значно підвищує техніко-економічні показники цукрового виробництва.

Ключові слова: цукровий завод, синергетика, часовий ряд, автоматизоване керування.

В статье рассматривается проблема автоматизированного управления технологическим комплексом сахарного завода в условиях образования диссипативных пространственно-временных структур хаотического характера в процессе его функционирования. Предложенный синергетический подход, основанный на учете явлений самоорганизации сложного объекта управления, который позволяет в соответствии с его физико-химической природой организовать ресурсосберегающие управляющие действия резонансного характера, что значительно повышает технико-экономические показатели сахарного производства.

Ключевые слова: сахарный завод, синергетика, временной ряд, автоматизированное управление.

In article the problem of control automated technological complex of the sugar refinery in the conditions of formation of the dissipative structures spatiotemporal the chaotic nature in the process of its functioning. The proposed synergistic approach based on the account of the phenomena of self-organization of complex control object, which allows, in accordance with its physical and chemical nature of the resources saving to organize the resonant character of control actions, which significantly increases the technical and economic characteristics of the sugar production.

Keywords: sugar refinery, synergetic, time series, automated control.

Технологічний комплекс цукрового заводу має всі характерні ознаки складних організаційно-технологічних систем [1]. Вони являють собою сукупність різних підсистем, зв'язаних між собою процесами інтенсивної взаємодії та обміну енергією, речовиною та інформацією. Ці системи є нелінійними, багатомірними та складно зв'язаними, в яких протікають характерні перехідні процеси та виникають критичні і хаотичні режими [2]. Проблема керування такими складними технологічними системами є надзвичайно актуальною з точки зору підвищення ефективності їх функціонування. Крім того, створились необхідні передумови розв'язання даної проблеми на основі сучасних досягнень теорії та практики автоматизованого керування та передових комп'ютерних технологій. Виходячи із особливостей технологічних процесів цукрового виробництва, для побудови ефективних стратегій керування ними найбільш перспективним є використання синергетичних алгоритмів, в основі синтезу яких лежить синергетична теорія керування [3]. Сучасна теорія керуван-

ня, побудована на кібернетичних засадах, успішно засвоїла методи досить грубої зовнішньої дії примусового характеру на різні технічні об'єкти, що приводить до значних витрат ресурсів для потреб керування. Синергетичний підхід дозволяє розробити нові методи досягнення цільових станів об'єкта керування, оснований на процесах самоорганізації в нелінійних динамічних системах, і побудувати універсальні об'єктивні закони телеомного керування на основі врахування фізико-хімічних властивостей явищ, які відбуваються в об'єктах керування [3, 4]. При цьому основна увага зосереджується на кооперативних, когерентних і самоузгоджувальних процесах, що виникають в складних нелінійних системах керування. Важливим аспектом побудови синергетичних алгоритмів керування є необхідність створення способів аналізу причин виникнення, формування та дії внутрішніх сил резонансного характеру, що приводять до утворення у фазовому просторі систем керування стійких дисипативних структур, які відображують природні властивості об'єкта керування

[5]. Ця принципово нова проблема теорії керування породжує необхідність розв'язання самостійних специфічних задач у конкретній предметній галузі - відповідній технології харчових виробництв, в тому числі і в цукровому виробництві.

У сучасній науковій літературі обговорюється і активно розробляється нова концепція функціонування складних організаційно-технічних систем, основні положення якої можна сформулювати в наступному вигляді [3, 6, 7]:

- динаміка системи має в значній мірі детермінований характер, тобто домінуючими в ній є в певному значенні детерміновані процеси, в тому числі і детермінованого хаосу [8];

- розвиток системи не має цілі, явно сформульованої і осмисленої одним або декількома індивідами, і відбувається в результаті домінантно-конкурентно кооперативних взаємодій її елементів і підсистем;

- процеси в системі носять синергетичний характер і її стійкий рівноважний стан за тими або іншими показниками є швидше виключенням, чим правилом;

- нормально функціонуюча, тобто життєздатна і в певному значенні оптимальна система, навіть у відсутність зовнішніх збурень, характеризується власною складною динамічною поведінкою;

- різноманітність динамічної поведінки системи необов'язково обумовлена складністю її структури, і багато процесів ефективно описуються динамічними моделями з невеликим числом змінних стану на основі нелінійних диференціальних рівнянь.

Загальна теорія еволюції складних нелінійних систем, до яких належать технологічні системи, дає загальні уявлення про можливий характер руху таких систем. Рівноважні, стійкі стани такої системи є тільки моменти в їх розвитку. Аналіз технологічної системи полягає в тому, що її розвиток розглядається як рух у фазовому просторі за деякою фазовою траєкторією. В сучасній теорії систем стійкість не припускається апріорно, малі зміни параметрів системи можуть приводити до структурних змін динамічних систем. Сучасні технологічні системи розглядають повільні процеси, які різко змінюються, при чому ці зміни важко передбачити. Такі зміни, які називають біфуркаціями, досліджуються методами нелінійного динамічного аналізу. В процесі неперервної зміни одного або декількох параметрів системи або зовнішньої дії при якомусь значенні параметра поточний динамічний процес може втратити стійкість, при цьому утворюються нові, стійкі або нестійкі режими. Надалі система розвивається за стійким сценарієм, якщо він існує при існуючих параметрах. Сукупність великої кількості нелінійних осциляторів, які створюють систему, здатна породжувати особливі структури - атрактори, виступаючи для дослідника як "цілі еволюції". Вони можуть бути як правильними, просто описуваними структурами, так і хаотичними

станами. У першому випадку атрактори характеризуються або одним кінцевим станом, або процесом, що циклічно повторюється, який задається простою математичною формулою. Геометрично атрактор - це множина точок, до якої наближається траєкторія після загасання перехідних процесів, тобто область тяжіння сусідніх точок. У випадку ж виникнення хаотичних станів атрактор має нерегулярну структуру "дивного атрактора", що на відміну від атракторів регулярних структур, які характеризуються цілою розмірністю, визначається дробовою (фрактальною) розмірністю.

Дослідження структурних змін та хаотичних явищ в технології обумовлює потребу в нових теоретичних ідеях та інструментах, які б дозволили дослідження за межами традиційної теорії. Синергетика націлена на виявлення загальних принципів еволюції, самоорганізації складних систем у різних областях знання на основі побудови і дослідження нелінійних динамічних математичних моделей. При керуванні методами синергетики реалізується діалектичний принцип розвитку системи, еволюція динамічної системи зводиться до самоорганізації - прагненню до свого природного стану - між порядком і хаосом, компромісу між лінійністю, детермінізмом і випадковістю [9, 10].

Одним із ключових принципів синергетичного підходу є наявність в системах процесів самоорганізації. Під самоорганізацією розуміють процеси спонтанного впорядкування, виникнення і еволюції структур у відкритих нелінійних середовищах (системах); упорядкування системи за рахунок дії її складових, тобто певних внутрішніх законів, можливостей сил. Тобто, самоорганізація - це процес, у якому створюється і відтворюється система, що має високий рівень складності і велику кількість елементів, зв'язки між якими мають не жорсткий характер, а характер ймовірного розвитку. Щойно названі характеристики можуть бути доповнені наступними принципами синергетики, які також притаманні технологічним системам:

- динамічна ієрархічність (емерджентність) - це проходження системою точок біфуркацій, її становлення, народження і загибелі ієрархічних рівнів;

- гомеостатичність - це підтримка програми функціонування системи в деяких рамках, що дозволяють їй слідувати до своєї цілі - атрактору, можливість за рахунок специфічних реакцій об'єкта відновлювати його нормальне функціонування;

- дисипативність - пов'язана з розсіянням енергії, речовини або інформації, впорядкованість, що виникає у відкритих нелінійних системах, далеких від рівноваги;

- можливість спостереження - це відносність інтерпретацій до масштабу спостережень і початку очікуваного результату.

Важливою складовою сучасного підходу до керування технологічними об'єктами різного рівня є

ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

увага до механізмів самоорганізації. Вплив таких механізмів є досить відчутним, особливо в тих випадках, коли технологічна система через невірноважений стан стає високочутливою навіть до незначних впливів. Синергетика акцентує увагу на процесах колективної взаємодії компонентів відкритих технологічних систем, що перебувають у невірноваженому стані, який спричинено посиленням хаосу. Динаміка та наслідки зрушень через самоорганізацію певної системи залежить від характеру керування нею. Синергетична методологія керування виступає альтернативою традиційному керуванню, який передбачає жорсткий вплив системи керування на об'єкт, що підлягає управлінню. Синергетична методологія керування сприяє вирішенню управлінських проблем, які виникають у не рівноважних системах через переважання хаосу над порядком і які з позицій традиційного керування вирішити неможливо. Застосування такої методології є доцільним в складних ситуаціях керування [4]. Ці ситуації характеризуються, насамперед, тим, що рішення доводиться приймати при ситуації, що динамічно розвивається в умовах значної невизначеності. Саме використання нових методик керування та систем підтримки прийняття рішень на всіх рівнях керування дозволить підвищити якість управлінських рішень, і, як наслідок, ефективність функціонування технологічного комплексу в цілому.

Даний науковий напрям розвивається в працях таких вчених: Г. Хакена [11], І. Прихожина [12], А. Колеснікова [3, 4, 7], Г. Малинецького [8], П. Стрижака [13].

Мета досліджень полягає у створенні в результаті аналізу поведінки технологічного комплексу цукрового виробництва з позицій синергетики та детермінованого хаосу наукових та методологічних основ розробки високоефективних ресурсощадних систем автоматичного керування технологічними процесами.

Аналіз часових рядів основних технологічних змінних цукрового виробництва (рис. 1), проводився згідно із алгоритмом керування в ситуаційно-значущих зонах об'єкта керування у відповідності з розробленими сценаріями керування [14]. Встановлювалась наявність явищ переміжності (інтермітансу), яка полягає в чергуванні стохастичних режимів (область джокерів [15]) детермінованими та хаотичними режимами (область русел [15]). Хаотичні процеси, які спостерігаються в поведженні об'єкта та викликані внутрішніми факторами, у багатьох випадках відіграють конструктивну роль в адаптації складних об'єктів через самоорганізацію.

Для організації ефективного керування, заснованого на синтезі керуючих стратегій не примусового, а топологічно погодженого ресурсощадного характеру резонансної дії, проведені дослідження таких об'єктів виробництва методом рекурентного аналізу [5] та тесту Гілмора [16, 17] (рис. 2). Суть методу Гілмора полягає в тому, що

він виявляє нестійкі періодичні орбіти, вміщені в аттракторі. 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. Обчисливши всі різниці $|x_i - x_{i+t}|$, і якщо різниця менше, ніж ϵ , що визначає точність, то це позначається чорною точкою на графіку, якщо ж більше, ніж ϵ , позначається білим кольором. По горизонтальній осі відкладається номер спостереження i , де $i = (1, 2, \dots, N)$, а вертикальна вісь позначається через t , де $t = (1, 2, \dots, N - i)$. На наявність тісного повернення в даних вказують горизонтальні, діагональні або вертикальні відрізки прямих, що характеризує наявність русел. У той час, якщо множина даних стохастична у випадку джокера, виникне область рівномірно розподілених чорних точок.

Як тільки відповідне значення ϵ визначене, буде достатній масив точок, які дозволять визначити тип зображення, породженого даними.

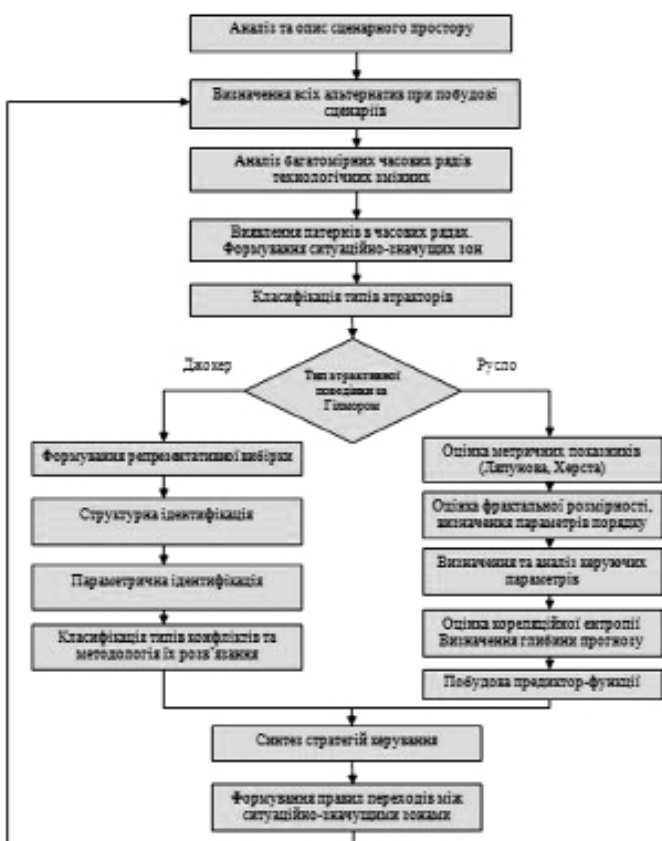


Рис. 1. Блок-схема алгоритму керування технологічним комплексом у відповідності із сценарно-синергетичним підходом

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 Gilmore's_Test.exe.

Аналіз результатів проведення графічного тесту Гілмора вказує на змінювання характеру хаотичної поведінки об'єкта в різні періоди сезону цукроваріння: спостерігається лабільність областей переміжності, варіація типів джокерів, змінюються періоди та частотний спектр циклів (рис. 2 - 3).

Актуальним залишається питання про дослідження характеристик атратора нелінійної системи технологічного комплексу цукрового виробництва, у якій відсутня інформація про математичну модель, а також розмірність фазового простору. Може бути відомо лише, як змінюються в часі деякі технологічні параметри, що входять до складу математичної моделі і описують об'єкт керування. Для оцінки системи необхідно мати часовий ряд, що належить фазовому простору розмірності n . Всі точки часового ряду мають належати атратору. Розглянемо дослідження на основі аналізу часового ряду із використанням показника Херста [18].

Для обчислення показника Херста необхідно визначити X_{cp} - середньоарифметичне значення за:

$$x_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad (1)$$

де N – число періодів спостереження; x_i – значення спостереження в конкретний момент часу, та знайти Z_u - накопичене відхилення ряду від середнього X_{cp} за:

$$Z_u = \sum_{i=1}^N (x_i - x_{cp}) \quad (2)$$

За такими значеннями можна визначити значення розмаху R часового ряду на певному проміжку та середньоквадратичне відхилення S за:

$$R = \max(Z_u) - \min(Z_u), \quad (3)$$

де $1 \leq u \leq N$,

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x_{cp})^2} \quad (4)$$

Показник Херста обчислюється для часового ряду на довгостроковій кореляції і визначається її фрактальною структурою.

$$R/S = (\alpha N)^H \rightarrow H = \frac{\lg(R/S)}{\lg(\alpha N)}, \quad (5)$$

де α – задана константа ($0,5 \div \pi/2$).

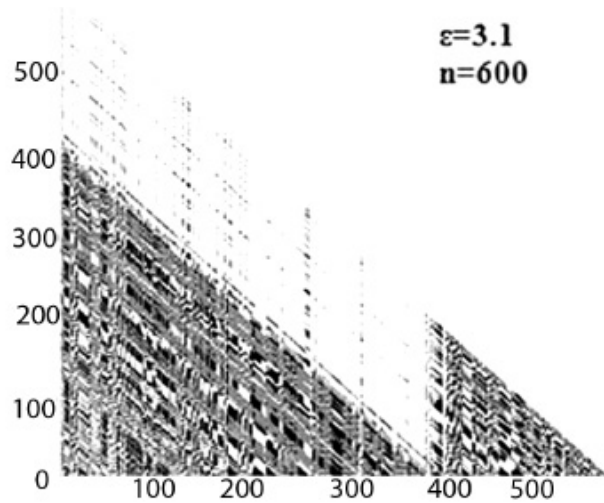


Рис. 2. Графічний тест хаосу витрати дифузійного соку

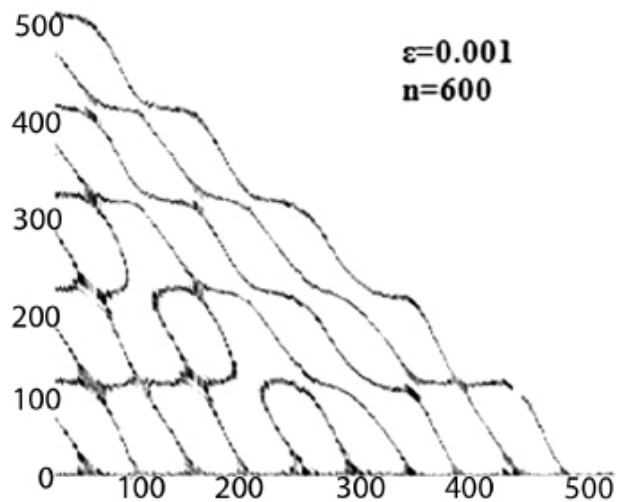


Рис. 3. Графічний тест хаосу рН дифузійного соку

В залежності від отриманого значення показника Херста на основі аналізу всі часові ряди можна розділити на три основних категорії:

1. Значення показника Херста від 0 до 0.5 – антиперсистентні часові ряди.
2. Значення показника Херста дорівнює 0.5 – випадкові часові ряди.
3. Значення показника Херста від 0.5 до 1 – персистентні часові ряди.

Визначення показника Херста здійснювалось за допомогою програмного забезпечення Fractan.

Показник Херста зв'язаний з фрактальною розмірністю D залежністю

$$D = 2 - H \quad (6)$$

Фрактальна розмірність, є показником складності кривої часового ряду.

Аналізуючи чергування ділянок з різною фрактальною розмірністю, можна прогнозувати поведінку системи. Та найголовніше, діагностувати і прогнозувати нестабільні стани.

Істотним моментом даного підходу є наявність критичного значення фрактальної розмірності часової кривої, при наближенні до якого система втрачає стійкість і переходить у нестабільний стан і параметри швидко або зростають, або спадають,

ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

залежно від теперішньої тенденції.

Нижче проаналізована динаміка зміни витрати дифузійного соку (рис. 4-5).

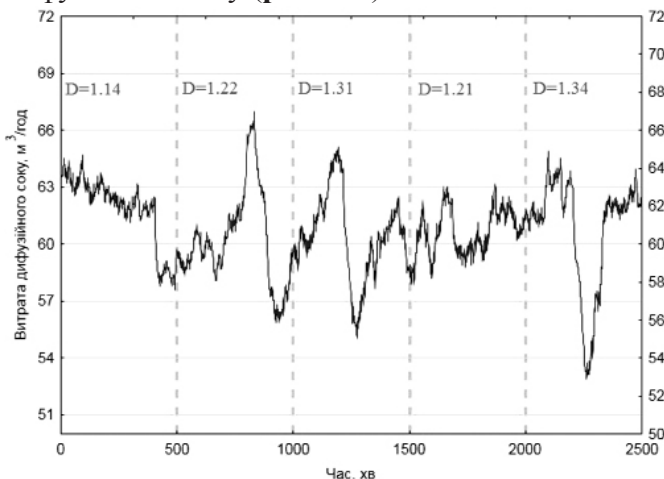


Рис. 4. Визначення фрактальної розмірності зміни часового ряду витрати дифузійного соку

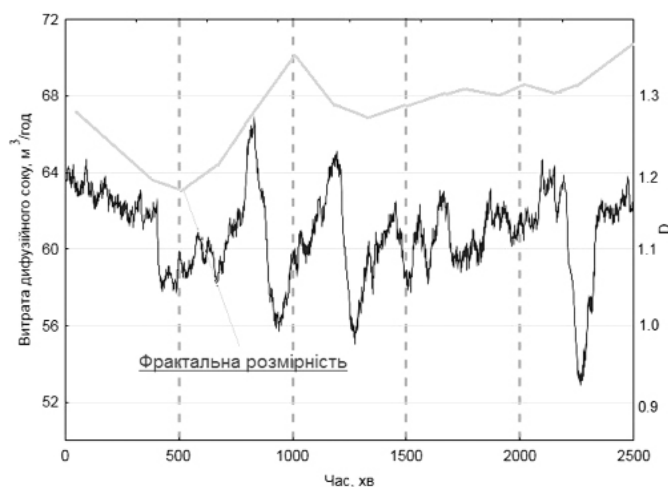


Рис. 5. Динаміка зміни фрактальної розмірності часового ряду витрати дифузійного соку

Висновки

Технологічний комплекс цукрового заводу як складна організаційно-технічна система вимагає застосування сучасних методів синергетичного керування для забезпечення високих техніко-економічних показників. Визначені показники складності технологічних процесів цукрового виробництва забезпечують реалізацію ресурсощадних алгоритмів на основі сучасних комп'ютерних технологій і перспективних напрямків автоматизації. ■

Список використаних джерел

1. Інноваційні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу / А. П. Ладанюк, В. М. Решетюк, В. Д. Кишенько, Я. В. Смітюх. – К. : Центр учбової літератури, 2014. – 280 с.
2. Ladanyuk A. The biotech complexes control in conditions of situational uncertainty / A. Ladanyuk, V. Kyshenko, Y. Smityuh // Annals of Warsaw University of Life Sciences. – 2012. – № 60. – 149 – 154 p.p.
3. Колесников А.А. Синергетика и проблемы теории управления / А.А. Колесников. – М.: ФИЗ-

МАТЛИТ, 2004. – 504 с.

4. Колесников А.А. Прикладная синергетика: основы системного синтеза / А.А. Колесников. – Таганрог : Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – 384 с.

5. Владимирский Э.И. Синергетические методы управления хаотическими системами / Э.И. Владимирский, Б.И. Исмаилов. – Баку : ELM, 2011. – 240 с.

6. Борисов В.В. Компьютерная поддержка сложных организационно-технических систем / В.В. Борисов, И.А. Бычков, А.В. Дементьев. – М. : Горячая – Телеком, 2002. – 154 с.

7. Колесников А.А. Кибернетика и синергетика: концептуальный альянс / А.А. Колесников. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – 489 с.

8. Малинецкий Г.Г. Нелинейная динамика: Подходы, результаты, надежды / Г.Г. Малинецкий, А.Б. Потапов, А.В. Подлазов. – М. : ЛИБРОКОМ, 2011. – 280 с.

9. Лоскутов А.Ю. Нелинейная динамика, теория динамического хаоса и синергетика (перспективы и приложения) [Электронный ресурс] / А.Ю. Лоскутов. – Режим доступа: www.cplire.ru/win/informchaoslab/chaoscomputerra/Loskutov.html

10. Кабанов В.А. Синергетические системы управления и самоорганизации / В.А. Кабанов // Весник МЭИ. – 1996. – №2. – С. 29 – 34.

11. Хакен Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам / Г. Хакен. – М. : Мир, 1991. – 240 с.

12. Пригожин И. Порядок из хаоса / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М. : Прогресс, 1986. – 432 с.

13. Стрижак П.Є. Детерминированный хаос в химии / П.Є. Стрижак. – К. : Академперіодика, 2002. – 286 с.

14. Kyshenko, V. Scripted control of technological process of the sugar production / V. Kyshenko, M. Sych // Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach. - B&M Publishing (San Francisco, California, USA), 2016. - №7. – P. 215-219.

15. Малинецкий Г.Г. Джокеры, русла или поиски третьей парадигмы / Г.Г. Малинецкий, А. Потапов // Синтез наук. Междисциплинарные подходы в развитии науки. Знание – сила. – 1998. – №3. – С. 19 – 35.

16. Gilmore G. Claire. A New Test for Chaos / G. Claire. Gilmore. – Journal of Economic Behavior and Organization. – 1993. – №22 – 209 – 237 p.p.

17. Сергеева Л.Н. Моделирование поведения экономических систем методами нелинейной динамики (теория хаоса) / Л.Н. Сергеева. – Запорожье: ЗГУ, 2002. – 227 с.

18. Kantellhardt J.W. Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series / J.W. Kantellhardt, S.A. Zschiegner, E. Koscielny-Bunde, S. Havlin, A. Bunde // Physica A. – 2002. – Vol. 316. – 87 – 114 p.p.