



jet.com.ua

ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКИЙ
ЖУРНАЛ
ПЕРЕДОВЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

ISSN 1729-3774

информационные технологии

інформаційні технології

information
technologies

новая экономика

нова економіка

new economy

промышленные технологии

промислові технології

industrial
applications

3/3 (21)
2006

Розглянуті в статті проблеми та задачі стосуються дослідження та аналізу поведінки процесів брагоректифікації. Зокрема проведено аналіз поведінки змінної найбільш важливої з точки зору управління брагоректифікаційною установкою (БРУ) - температури на контрольній тарілці ректифікаційної колони. Для дослідження вказаного параметру використовуються методи нелінійного аналізу часових рядів. Отримані результати можуть бути використані для аналізу БРУ як складного об'єкта управління (ОУ) та при розробці сценарних алгоритмів управління БРУ

ВІДНОВЛЕННЯ ТА ОЦІНКА АТРАКТОРА НА ОСНОВІ ЧАСОВИХ РЯДІВ РОБОТИ БРАГОРЕКТИФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

Я.В. Смітюх *

Асистент кафедри

Контактний тел.: (044) 287-94-56, 8-050-861-00-99.

e-mail: Smityuh@yandex.ru

В.Д. Кишенько *

Кандидат технічних наук, доцент кафедри

Контактний тел.: (044) 287-98-54, 8(04497)62530.

e-mail: Smityuh@yandex.ru

* Кафедра автоматизації та комп'ютерно – інтегрованих технологій Національного університету харчових технологій вул. Володимирська 68, м.Київ, Україна

1. Вступ

Технологічний процес брагоректифікації – це ключова і найбільш відповідальна стадія отримання спирту. Якість виготовлення спирту в більшості залежить від підтримання технологічних режимів роботи брагоректифікаційної установки на оптимальному рівні в умовах, що характеризуються віддаленістю від стану термодинамічної рівноваги та утворенням дисипативних просторово – часових структур, тобто брагоректифікаційна установка є складним об'єктом керування.

Успішний моніторинг процесу брагоректифікації вимагає проведення ефективного прогнозування атрактивної поведінки об'єкта з урахуванням явищ виникнення, самоорганізації та еволюції структур при протіканні складних тепло- і масообмінних та гідродинамічних процесів.

2. Постановка задачі

Нехай ми маємо ряд експериментальних даних $\{s_k\}_{k=0}^{M-1}$. Якщо є відомим крок по часу Δt , в той час $t = k \cdot \Delta t$. Передбачається що фізична величина s являється однією з змінних динамічної системи. Система знаходиться в стаціонарному стані, а саме траєкторія проходить всередині атрактора Крок по часу залежить від періоду опитування датчика Δt , час $t = k \cdot \Delta t$. Кожна з величин, які аналізуються, є величинами, що характеризують проходження процесу брагоректифікації.

Необхідно оцінити характеристики атрактора розраховуючи оціночні характеристики: показник Херста, кореляційну розмірність, кореляційну ентропію.

3. Класифікація існуючих методів та вирішення поставленої задачі

Для обчислення таких показників, як розмірність, ентропія, показник Херста, та інших характеристик

атракторів, необхідно мати множину точок, визначених у фазовому просторі розмірності n - і які належать атрактору. Число точок M - в розрахунках кінцеве, але повинно бути достатньо великим.

$$M \geq M_{\min} = 10^{2+0.4D}, \quad (1)$$

де D - це розмірність атрактора.

На сьогоднішній день при дослідженні динамічних систем актуальним є обчислення показників атрактора динамічної системи, математичні моделі якої невідомі, але при цьому, як правило, невідома і розмірність фазового простору. В цій ситуації ми маємо інформацію про поведінку в часі окремо взятих режимних змінних. В нашому випадку основною контрольованою змінною вважаємо температуру на контрольній тарілці, яка характеризує основний режим роботи БРУ[1,2]. До того ж інтервал часу експериментальної реалізації є обмеженим.

Шлях для вирішення поставленої проблеми був запропонований Такенсом. Доведено, що майже для всіх гладких динамічних систем по часовій реалізації окремої спостережуваної змінної ми можемо сконструювати новий атрактор, основні властивості якого будуть такими ж як і у початкового.

Методи нелінійного аналізу дозволяють визначити розмірність простору в якому "живе" вихідний атрактор. В свою чергу це значить що є можливість визначення мінімального числа диференціальних рівнянь, які дозволяють дати адекватний опис кінетики процесу. Згідно з теоремою Такенса[6], для визначення розмірності N динамічного атрактора необхідна реконструкція хронологічних упорядкованих даних з побудовою траєкторії процесу в просторі вкладень $2N+1$.

Для відновлення атрактора Такенсом запропонований метод часової затримки координат, а саме в n -вимірному просторі будуються послідовність вимірів окремо взятої змінної об'єкта управління (ОУ).

$$y_k = (s_k, s_{k+\tau}, \dots, s_{k+(n-1)\tau}), \quad (2)$$

$$k = \overline{0, m-1} \quad m = M - (n-1)\tau$$

де τ - часова затримка, n - розмірність вкладення.

Виходячи з аналізу цього методу, основний результат Такенса полягає в наступному. Якщо $M \rightarrow \infty$, то множина точок $Y_k \in Q^n$ задає вкладення вихідного атрактора майже при будь якому виборі спостережуваної змінної, якщо n - не менше подвійної розмірності вихідного атрактора. Для оцінки характеристик реального досліджуваного атрактора можна обчислювати характеристики відновленого атрактора. З метою зменшення похибки, що обумовлено обме-

ним набором експериментальних даних $\{s_k\}_{k=0}^{M-1}$, необхідно проводити розрахунки при декількох різних значеннях M та n і досягати залежності отриманих оцінок характеристик від M та n в межах заданої точності.

В контексті аналізу брагоректифікаційної установки як складного ОУ необхідним є розгляд експериментальних даних у вигляді часових рядів, отриманих в реальних умовах.

В якості основного параметру досліджується часовий ряд, який нараховує 19534 значень температури на контрольній тарілці ректифікаційної колони (РК) (в добовому еквіваленті це 8 діб роботи БРУ). У фазовому просторі температура буде залежати від витрати пари на БРУ та витрати бражки на БРУ (кількість даних відповідає кількості даних по температурі).

Для реалізації даного методу необхідно на початковому етапі вихідний часовий ряд відфільтрувати від шумів. Для цього використовувався вейвлет фільтр, реалізований в середовищі Matlab.

На наступному етапі визначаємо часову затримку τ , а саме для малих кроків по часу Δt значення s_k та s_{k+1} будуть близькими, тому великого значення набуває правильний вибір часової затримки τ . Необхідно підібрати значення τ таким, щоб кореляція між s_k та s_{k+1} була по можливості мінімальною. Традиційним способом визначення часової затримки є обчислення автокореляційної функції часового ряду:

$$B(\tau) = \frac{1}{m} \sum_{k=0}^{m-1} (s_k - \bar{s})(s_{k+\tau} - \bar{s}), \quad (3)$$

$m = M - \tau$

Затримка τ обирається рівною часу першого пересікання нуля автокореляційної функції. Другий спосіб потребує обчислення спектру потужності часового ряду тобто швидкого перетворення Фур'є автокореляційної функції. Якщо в спектрі потужності присутні кратні піки, то затримка τ обирається рівною періоду самій високій з домінуючих частот. Третій спосіб ґрунтується на обчисленні середньої взаємної інформації між двома вимірами.

Наступним кроком є визначення кореляційної розмірності атрактора. У випадку модельних даних, коли нам відома розмірність n фазового простору динамічної системи, і всі n координат кожної точки на атракторі, кореляційна розмірність D атрактора знаходиться наступним чином.

Розглянемо кореляційний інтеграл $C(r)$, який показує відносне число пар точок атрактора, які знаходяться на відстані не більшій r .

$$C(r) = \frac{1}{m(m-1)/2} \sum_{i=0}^{m-2} \sum_{j=i+1}^{m-1} \Theta(r - \rho(x_i, x_j)) \quad (4)$$

тут Θ - функція Хевісайда:

r - відстань в n -вимірному фазовому просторі,
 m - число точок на атракторі.

Якщо виконується умова

$$C(r) \approx r^D \quad (5)$$

то D - рахують як кореляційну розмірність атрактора.

Справедливість приведенного степеневого закону обмежена значеннями r , достатньо малими в порівнянні з розмірами атрактора. При збільшенні r величина $C(r)$ досягає насичення $C(r) \rightarrow 1$ (при r , співрозмірними з розмірами атрактора). З іншої сторони, при дуже малих значеннях r число пар точок x_i, x_j , відстань між якими не перевищує r , стає малим в зв'язку з кінцевою кількістю точок на атракторі і статистика стає бідною). Враховуючи, що з (5) слідує:

$$\ln C(r) \approx D \ln r \quad (6),$$

отримуємо оцінку розмірності атрактора як тангенс кута нахилу прямої, яка апроксимує графік кореляційного інтегралу $C(r)$ в подвійному логарифмічному масштабі.

При розгляді часових рядів знятих з датчиків вимірювання координат стану БРУ ми не можемо знати розмірність фазового простору системи і мати інформацію тільки по одній координаті точки на атракторі. Тому всі розрахунки проводяться для декількох розмірностей фазового простору $n=1,2,3,\dots$

В даній роботі здійснюється відновлення атрактора за методом Такенса, а також для оцінки ситуаційно значимих зон використовуємо графічний метод оцінки фазового простору який дозволяє оцінити еволюційну поведінку зміни температури в залежності від основних управляючих змінних. При цьому кореляційна розмірність атрактора $D(n)$ спочатку зростає, але потім як правило виходить на постійний рівень $D(n) \approx D$. Таким чином ми отримуємо шукану кореляційну розмірність D атрактора та оцінку розмірності фазового простору системи $n \leq 2D + 1$. У випадку якщо вихідний сигнал динамічної системи є спотвореним, розмірність атрактора постійно зростає.

Наступним важливим показником який характеризує основні показники атрактора є кореляційна ентропія.

Кореляційна ентропія K може бути обчислена достатньо просто, але при умові, якщо для цього вже вирахований кореляційний інтеграл (4) і при її визначенні розглядається не тільки її залежність від відстані r , але й залежність від розмірності фазового простору n . При цьому рахують, що:

$$C(r, n) \approx r^D \exp(-nK) \quad (7)$$

Звідки

$$K(r, n) = \ln \frac{C(r, n)}{C(r, n+1)} \quad (8)$$

При цьому ентропія K апроксимується в обраному діапазоні r та n .

4. Результати проведених досліджень

Дослідження основних характеристик часових рядів здійснюється в програмному середовищі Fractan та інструментальному засобі Matlab. З рис. 1 видно які режими на протязі всіх 8 діб є найбільш переважними (червоні кола окреслюють притягуючі режими роботи БРУ). На основі графічного аналізу виділямо ситуаційні зони для побудови сценарію переходу між усталеними режимами.

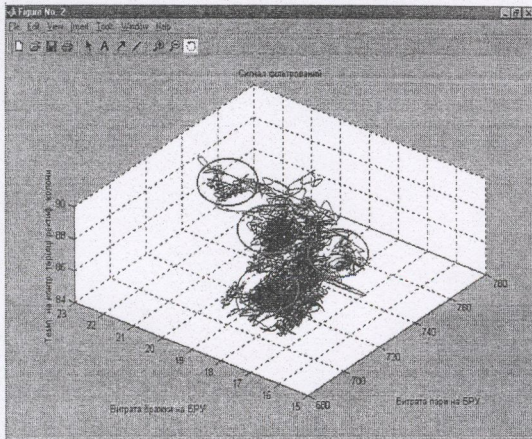


Рисунок 1. Фазовий портрет поведінки температури на контрольній тарілці ректифікаційної колони в залежності від витрати бражки на БРУ та витрати пари на БРУ

Характер зміни показника Херста (рис.2) та його числовий еквівалент дозволяють оцінити даний часовий ряд на ознаку персистентності. Оскільки показник Херста $H = 0.9482 \pm 0.1195$, а не значенню, що менше або дорівнює 0.5 – це говорить про те, що система персистентна з подальшими кореляціями. Вказаний факт дозволяє стверджувати, що досліджуемий кочивальний процес характеризується внутрішнім порядком – структурою з фрактальними властивостями. Це означає, що часова еволюція даної системи являє собою динамічний стан, який називається хаотичним дивним аттрактором. Таким чином, в даному випадку можна говорити про нелінійну самоорганізацію БРУ- [6] та чутливість до початкових умов [5].

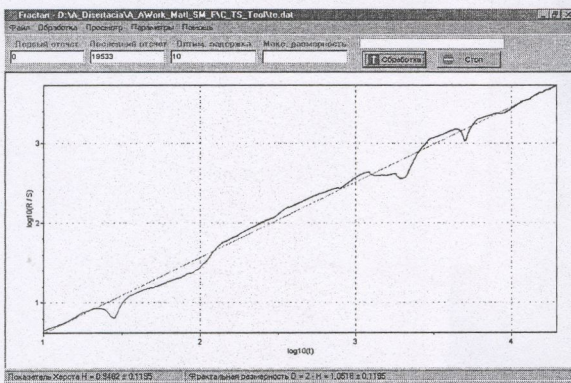


Рисунок 2. Показник Херста $H = 0.9482 \pm 0.1195$
Фрактальна розмірність $D = 2 - H = 1.0518 \pm 0.1195$

Кореляційна розмірність та кореляційна ентропія відповідно (рис.3) та (рис.4) показують характерні нелінійні ознаки БРУ як складного ОУ.

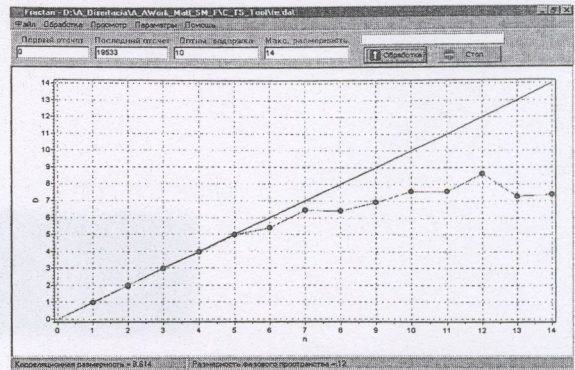


Рисунок 3. Кореляційна розмірність 8.614
Розмірність фазового простору 12

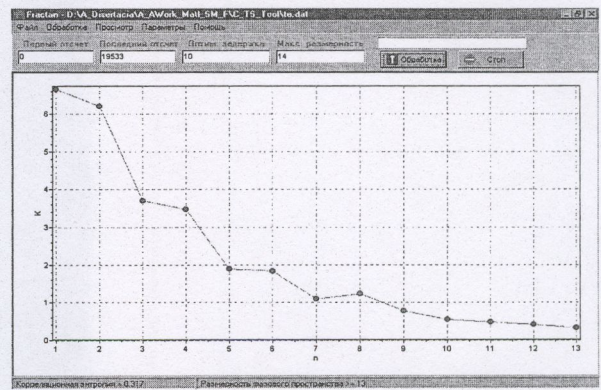


Рисунок 4. Кореляційна ентропія за цей період = 0.317.
Розмірність фазового простору ≥ 13

5. Висновки

1. Аналізуючи зміну температури у фазовому просторі відносно зміни витрати бражки та витрати пари, можна виділити ситуаційно значимі зони, аналіз яких в свою чергу дозволить побудувати сценарій урівніння БРУ.
2. При аналізі основного показника Херста можна зробити такий висновок: оцінюючи характер зміни показника та його числовий еквівалент, можна з повною ймовірністю говорити про те, що даний часовий ряд, як і БРУ має персистентну природу [5], на основі якої можна прогнозувати подальшу зміну температури на контрольній тарілці РК.

Література

1. Мандельштейн М. Л. Автоматические системы управления технологическим процессом брагоректификации. - М.: "Пищевая промышленность" 1975. 240 с.
2. Стабников В.Н., Николаев А.П., Мандельштейн М.Л. Ректификация в пищевой промышленности. Теория процесса, машины, интенсификация. - Легкая и пищевая промышленность, 1982. 232 с.
3. Лоскутов А. Ю., Михайлов А. С. Введение в синергетику. - М.: «Наука», 1990. 272 с.
4. Сергеева Л.Н. Нелинейная экономика: Модели и методы. Монография. - Запорожье: "Полиграф" 2003. 218 с.
5. Эдгар Э. Петерс Фрактальный анализ финансовых рынков. - М.: "Интернет-Трейддинг" 2004. 304 с.
6. Карманов А.П. Лигнин. Структурная организация и самоорганизация. // Химия растительного сырья. 1999. №1. С.65-74.
7. Лоскутов А.Ю. Проблемы нелинейной динамики. II. Подавление хаоса и управление динамическими системами. - Вестник МГУ, сер. физ.-астр., 2001, №3, С.3-21.