

УДК 681.513.6

В.Д. Кишенько, канд. техн. наук
А.П. Ладанюк, д-р техн. наук

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ НА ОСНОВІ СИНЕРГЕТИЧНОГО ПІДХОДУ

Сформульовано напрямок досліджень технологічних процесів харчових виробництв як складних систем в умовах самоорганізованого структуроутворення. Визначені базові математичні схеми для опису та інтенсифікації харчових виробництв з позицій синергетики, які орієнтовані на використання в системах автоматизованого управління.

Ключові слова: технологічні процеси, харчові виробництва, синергетика, математичні моделі.

It has been formulated the research direction of the technological processes of food manufacture as a complex systems in self-organization gelling conditions. Specified the basis mathematic schemes for the description and intensification of food manufacture from the position of the synergetic which are use-oriented in the automated management systems.

Key words: technological processes, food manufacture, synergetic, mathematic models.

Сучасний етап розвитку систем управління технологічними комплексами, в тому числі і харчових виробництв, можна охарактеризувати такими особливостями. По-перше, підвищення ефективності управління за рахунок ускладнення прикладних функцій, яке ґрунтується на сучасних наукових досягненнях в області теорії управління, застосуванні різноманітних методів, включаючи методи системного аналізу, нелінійної динаміки, інженерії знань, багатокритеріальної оптимізації, використанні комп'ютерних технологій, інтеграції задач, що охоплюють сферу організаційного управління, управління виробничими процесами на різних рівнях ієрархії. По-друге, спостерігається чітка тенденція на автоматизацію прикладних функцій управління, на вилучення оператора-технолога із контуру управління, особливо в області тих функцій, що вимагають рутинної роботи та оперативності в прийнятті рішень, завдяки інтелектуальним алгоритмам управління, які забезпечуються такими компонентами [1]:

— наявністю в алгоритмах різноманітних моделей, що дозволяють імітувати особливості розумової діяльності людини, її інтелекту у відтворенні в систематизованому вигляді представлення людини про поточну та майбутню поведінку об'єкта управління;

— здатністю до накопичення, набуття та уточнення таких знань, які дозволяють здійснити адаптацію системи управління до змінювань зовнішніх умов, що відповідає здібностям людини до самонавчання;

— можливістю алгоритмів управління здійснювати вибір рішень в складних практичних ситуаціях (багатоцільове функціонування, високий рівень невизначеності та ризику, змінювань пріоритетності цілей) за рахунок самоорганізації.

Однією із найбільш серйозних причин, що гальмують широке використання інтелектуальних алгоритмів, є відносно великий розрив між досягненнями сучасної теорії управління і недостатнім досвідом їх практичного впровадження, особливо для технологічних об'єктів [1]. Таке становище обумовлене тим, що при синтезі конкретних алгоритмів загальні теоретичні положення повинні суттєво бути дороблені та розвинуті в прикладних напрямках, тобто потрібно створити необхідну методологічну базу розробки комп'ютеризованого управління технологічними процесами, зокрема харчових виробництв, з урахуванням їх специфіки.

Дослідження в галузі нерівноважної термодинаміки відкритих систем та нелінійної динаміки виявили якісно нові процеси, пов'язані з явищами самоорганізації та структуроутворення в об'єктах різної природи: біотехнологічних, хімічних, фізичних [4]. Виник новий науковий напрям в теорії нелінійних процесів, пов'язаний з дослідженнями ролі взаємодій між компонентами нелінійної динамічної системи при формуванні просторово-часових дисипативних структур в нерівноважних умовах — синергетика. Головними поняттями нелінійної динаміки є нелінійність, нерівноважність, нестійкість, хаотичність, стохастичність, самоорганізація, різноманітність, взаємодія.

Розглянемо особливості технологічних процесів з точки зору синергетичного підходу.

У визначених умовах в нерівноважному середовищі, що складається із надто великої кількості частинок формуються просторові чи часові структури - дисипативні структури. До них відноситься біологічні структури всіх видів [2].

Біологічні дисипативні структури є виключно складними об'єктами і в своїй основі всі вони мають клітину. Але навіть у випадку найпростішої клітини в процесі метаболізму задіюються декілька тисяч спряжених хімічних реакцій, що, безперечно, вимагає тонких механізмів координації і регуляції. Іншими словами, тут потрібно мати надзвичайно складну функціонально організовану структуру. Біологічна впорядкованість є одночасно структурною і функціональною.

Біологічні об'єкти в своїй життєдіяльності являють собою сукупність хімічних реакцій та енергетичних потоків. Причому їх життєдіяльність забезпечується власне енергетичними потоками, які доставляють речовини до місця хімічних реакцій і відводять продукти реакцій. В свого чергу хімічні реакції з однієї сторони дозволяють виробити кооперативну енергію потоків із потенціальної енергії хімічних з'єднань, що забезпечує функціональні можливості організмів, з іншої сторони формують необхідні організму статичні структури для росту і регенерації організму, тобто забезпечують пластичний обмін. Надлишкова кооперативна енергія витрачається організмом на виробництво зовнішньої роботи.

Розглянемо види векторних потоків в біоструктурах із синергетичних позицій.

В біосистемі кінетична енергія існує в двох формах:

1) В хаотичній формі, в формі зрівноваженого стану, коли немає виділеного напрямку переміщення і результуючий імпульс всіх частинок при такому стані рівний нулю ($M_{\text{роз}}^p = 0$). Кінетична енергія системи в такому стані не здатна виконувати макроскопічну роботу проти сил. З точки зору забезпечення функціональних можливостей вона є некорисною.

2) У формі сумісного, кооперативного руху частинок, що мають результуючий імпульс відмінний від нуля ($M_{\text{роз}}^p \neq 0$). Кінетична енергія в такому стані здатна забезпечити функціонування самого організму і здійснювати необхідну йому зовнішню роботу. Нерівноважність стану дисипативного середовища служить джерелом упорядкованості. Всіляка нерівноважність станів термодинамічної системи визивається якою-небудь різницею потенціалів (різниця тисків, температур, різниця хімічних потенціалів, різниця енергетичних рівнів). Вже в різниці потенціалів, в наявності потенціальної енергії, закладені умови виникнення кооперативного руху. Якщо в термодинамічній системі є нерівноважність, тобто різниця потенціалів, то в цій системі є градієнт потенціальної енергії, завдяки якому в системі діє сила

$$F = -\text{grad}\Delta\varphi = -\text{grad} E_n \quad (1)$$

де E_n — потенціальна енергія системи; F — сила, що діє в системі; r — відстань, на якій є різниця потенціалів $\Delta\varphi$.

Загальна постановка задачі синергетичного управління і самоорганізації формулюється так [3]:

— визначається рівняння об'єкта

$$\dot{X} = F(X, U, E, t) \quad (2)$$

де X — вектор стану об'єкта; U — дія управління; E — вектор випадкових збурень; $F(\cdot)$ — нелінійна функція, t — час;

— дія управління:

$$\dot{U} = G(U, X, Z, C, S) \quad (3)$$

де Z — потрібний стан системи; $G(\cdot)$ — нелінійна функція; C — параметр управління; S — параметр порядку.

Рівняння (2) і (3) доповнюються ймовірнісними характеристиками випадкового збурення E , критеріями точності, швидкодії та витрат у вигляді функціоналів від U, X, Z, t .

Формування ефективного управління значною мірою визначається математичним описом об'єкта. В загальному вигляді для опису нелінійних динамічних систем в умовах випадкових збурень можна використати дисипативне рівняння Ланжевена виду:

$$\dot{X}(t) = f(x, t) + g(x, t)E(t) \quad (4)$$

де $f(\cdot), g(\cdot)$ — векторні детерміновані функції, причому $f(x, t)$ описує топологію фазового простору та визначає динамічні властивості системи. Складова виразу (4) — $g(x, t)E(t)$ визначає характер взаємодії між детермінованою та стохастичною компонентами системи і відіграє значну роль в нерівноважних та нестійких процесах, коли флуктуації допомагають системі знаходити стійкий стан рівноваги в нових умовах. Випадковий характер процесу проявляється в тому, що траєкторії руху системи є множинними.

В основі процесів самоорганізації лежать різні процедури взаємодії між детермінованими і стохастичними складовими системи в умовах нерівноважності, нестійкості, неузгодженості і зовнішніх діянь.

Нерівноважний перехід технологічної системи до більш впорядкованих станів на основі варіаційних принципів її самоорганізації приводить до формування дисипативних структурних динамічних агрегатних композицій технологічних факторів. Системна методологія опису дисипативних структур ґрунтується на наступних положеннях: 1) вводиться цільова стохастична функція, що моделює телеономну активність флуктуацій; 2) розглядається когерентне просторово-часове структурування цієї функції; 3) досліджується динаміка флуктуацій, здатних створювати нові структури. Найпростіша модель дисипативних структур являє собою систему нелінійних рівнянь із двома змінними x і y , що залежать від часу t і просторової координати r .

$$\frac{\partial x}{\partial t} = P(x, y) + D_x \frac{\partial^2 x}{\partial x^2}; \quad \frac{\partial y}{\partial t} = Q(x, y) + D_y \frac{\partial^2 y}{\partial y^2}, \quad (5)$$

де D_x і D_y — коефіцієнти розподілу технологічних факторів, а $P(x, y)$ і $Q(x, y)$ відтворюють відповідно приріст і зменшення цих факторів. Рівняння описують загальну динаміку нелінійного процесу самоорганізації технологічної системи. Формування дисипативних структур можливо при наступних умовах:

— одна із змінних (напр. x) повинна бути автоколивальною, інша (y) — що демпфує, у результаті чого величини dP/dx і dP/dy мають різні знаки; — коефіцієнт розподілу автоколивального технологічного фактору повинен бути менше коефіцієнта розподілу фактору, що демпфує, тобто $D_x < D_y$.

Формування дисипативних структур відбувається на конвергентному етапі самоорганізації технологічних систем у вигляді спонтанних якісних переходів у нові фазові стани. У нелінійний процес дисипативної структуризації втягується весь спектр флуктуацій, які, корелюючи один з одним, набувають більш впорядкований характер і супроводжуються меншим виробництвом ентропії на кожному наступному рівні ієрархії технологічної системи. Нелінійна дисипативна структуризація надає процесу самоорганізації технологічної системи телеономну спрямованість, що детермінує оптимальний вибір найбільш досконалих структур. Тим самим технологічна система знаходить у дисипації флуктуацій корисні для себе зміни, кумулятивно закріплює їх при переході в метастабільні стани, формує когерентні оптимізаційні структури на площині можливих емерджентних рішень.

У нелінійних динамічних системах в умовах біфуркаційної нестійкості можуть виникати тимчасові структури у вигляді хаотичних процесів з областю притягування типу "дивного" атратора, який має дробову розмірність фракталу у фазовому просторі (рис. 1). В цьому випадку в динамічних детермінованих нелінійних системах вище другого порядку можуть виникати випадкові процеси. Система управління повинна мати можливість обирати співвідношення між сприяннями та протидіями в колективних процесах, підсилюючи або зменшуючи ефекти впливу різних частин [5].

Для технологічних процесів харчових виробництв можна виділити такі механізми самоорганізації та взаємодії [4]:

— цілеспрямоване узгодження і координація дій між елементами в колективній системі у відповідності до загальної задачі;

— використання параметрів порядку, загальних правил, відношень, полів та середовищ для впорядкування колективної поведінки;

— введення вибіркової нестійкості в нерівноважних фазових переходах за схемою: біфуркація — нестійкість — хаос — впорядкована структура;

— конкуренція, конфлікти, конфронтація і компроміси, консолідація;

— флюктуація, мутація та відбір;

— семантичний зв'язок та асоціативна дія;

— генерація структур.

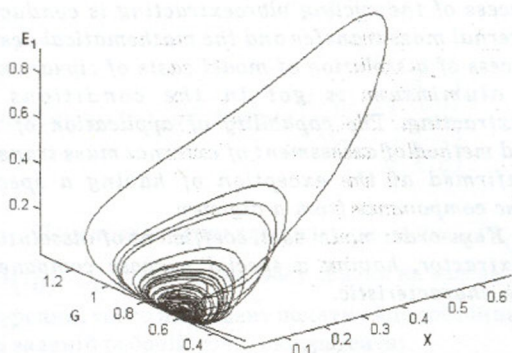


Рис. 1. "Дивний" аттрактор процесу гідролізу (E_1 — активність ферменту, G — концентрація компонента в субстраті, X — концентрація компонента в цільовому продукті)

Названі задачі складають єдину інформаційну технологію — системний-нелінійний синтез, що в комплексі дають можливість урахувати основні зміни та параметри об'єкта, урахувати його еволюцію, причинно-наслідкові зв'язки та обмеження.

При дослідженні складних нелінійних об'єктів управління різної природи явищ в багатьох випадках встановлено, що в них відбувається зменшення ступенів свободи (параметрів порядку), які ефективно описують систему. Такі параметри порядку дають можливість спростити опис систем управління шляхом побудови ієрархії спрощених моделей, які в повній мірі дозволяють визначити повний спектр поведінки складних об'єктів управління, включаючи виникнення дисипативних просторово-часових структур (рис. 2). Разом з тим, в синергетиці,

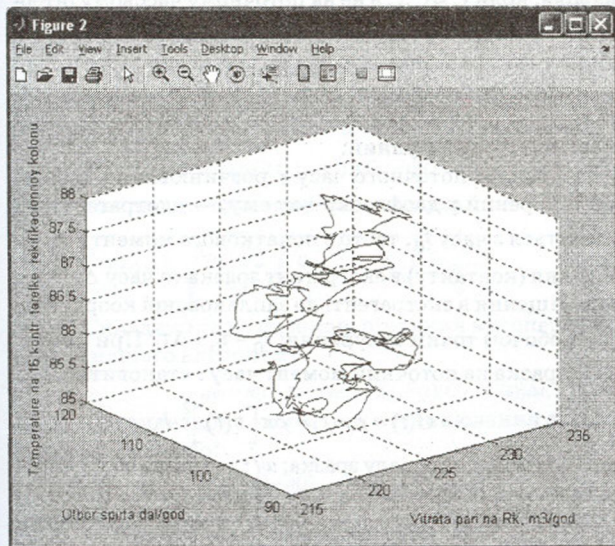


Рис. 2. Дисипативні просторово — часові структури процесу брагоректифікації

науці про самоорганізацію систем, зовнішні дії враховуються як проходження через внутрішню природу самого складного нелінійного об'єкта, його самоорганізації в цих умовах, а не як примусові дії.

Даний підхід орієнтований на пізнання закономірностей само-організації складних нелінійних динамічних об'єктів в умовах їх хаотичного спонтанного структурування. Головна задача такого управління полягає в описі топології областей атракторів, як центрів дисипативного структурування об'єктів управління. Тому відносно незначна, але топологічно узгоджена резонансна дія буде давати поштовх для розвитку потенціально багатих ресурсів, які приховані в технологічних процесах.

Комп'ютерне моделювання технологічних процесів дозволить визначити атрактивну поведінку об'єктів управління в різних умовах їх функціонування і дозволить розробляти довгострокові плани стратегії управління (сценарії управління), що забезпечить високу ефективність управління.

Висновки. З аналізу відомих підходів, що реалізують оптимальне управління у реальному масштабі часу, робимо висновок, що для управління біотехнологічним процесом доцільним є застосування підходу, оснований на використанні методів самоорганізації, бо даний підхід не вимагає при реалізації використання примусових впливів, застосування яких у випадку обмеженої тривалості процесу неприйнятно у зв'язку з інерційністю реакції біосинтезу мікроорганізмів на зміну умов функціонування, а також значного використання ресурсів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназаров Н.Н. Производственные системы с искусственным интеллектом. — М.: Радио и связь, 1990. — 264 с.
2. Гачок В.П. Странные аттракторы в биосистемах. — К.: Наукова думка, 1989. — 240с.
3. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. — М.: Энергоатомиздат, 1994. — 343 с.
4. Кольцова Э.М., Третьяков Ю.Д., Гордеев Л.С., Вергелел А.П. Нелинейная динамика и термодинамика необратимых процес сов. — М.: Химия, 2001. — 408 с.
5. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. — М.: Наука, 1994. — 299 с.

Надійшла до редколегії 26.11.07 р.