УДК 62.501.12:631.563.4:621.926 (615+664)

АЛГОРИТМІЧНА МОДЕЛЬ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВИПАДКОВОГО ПОШУКУ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕМІШУВАННЯ, ПОДРІБНЕННЯ ІНГРЕДІЄНТІВ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ТА ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Лисогор В.М.
Пришляк В.М.
Янович В.П.
Вінницький національний аграрний університет

Запропонована і реалізована алгоритмічна модель ідентифікації випадкового пошуку багатостадійних технологічних інгредієнтів фармацевтичних та харчових виробництв, які відрізняються від відомих як організацією системи управління [1, 2] двома різновидами упорядкованого набору структурних одиниць усієї системи на чолі автоматизованої підтримки рішень з частково упорядкованими критеріями якості функціонування системи, так і безпосередньою складністю зазначених технологічних, не завжди структурно формалізованих, процесів.

Proposed and implemented algorithmic model identification multistage random search processes of mixing, chopping ingredients pharmaceutical and food industries, which differ from the organization known as the control system [1, 2] two kinds of ordered set of structural units of the whole system at the head of an automated decision support in partially ordered criteria quality of the system, and direct these technological complexity is not always formalized structure and processes.

Вступ

На сьогоднішній день широке розповсюдження отримали сучасні інформаційні технології розв’язання задач ідентифікації та управління складних процесів, одним з яких є перемішування, подрібнення інгредієнтів фармацевтичних та харчових виробництв. Існують достатньо вдалі розробки моделей управління складних технічних, технологічних, економічних систем.

Проте, принципово не розроблені математичні підходи ідентифікації та управління багатостадійних технологічних процесів (БСТП), які широко розповсюджені в різних галузях народного господарства, в тому числі перемішування, подрібнення інгредієнтів фармацевтичних і харчових виробництв та чекають свого повного чи часткового розв’язання. Складність задачі ідентифікації та управління полягає в невизначених умовах між стадійних стиків, які відомими методами не розв’язані. Звідсіля, використання нового методу побудови алгоритмічної моделі випадкового пошуку структурних одиниць досліджуваних процесів є достатньо перспективним та актуальним.

З аналізу останніх публікацій та досліджень видно, що [1, 2] є першим у світовій практиці досвідом наскрізного викладання сучасних принципів, підходів, методів моделювання функцій ідентифікації та управління складних формалізуючих об’єктів різної фізичної природи – технічних, технологічних, економічних, соціальних систем. В [3] викладені принципи розробки таких алгоритмів, що вони можуть бути використані як універсальні для широкого діапазону задач теорії і практики взагалі. Питання автоматизації технологічних процесів і виробництв харчової промисловості висвітлено у [4], а економіко-математичне моделювання активів фармацевтичних промислових підприємств достатньо обширно представлено в періодичному виданні [5].

Мета публікації

Запропонувати та розробити алгоритмічну модель випадкового пошуку в задачах ідентифікації управління багатостадійних технологічних процесів (БСТП) перемішування, подрібнення інгредієнтів фармацевтичних та харчових виробництв в нормальних та екстремальних станах свого функціонування.

Основний результат публікації

Задачі ідентифікації і управління БСТП являється пріоритетними в розробці алгоритмічних моделей випадкового пошуку процесів перемішування, подрібнення інгредієнтів фармацевтичних та харчових виробництв в нормальних та екстремальних станах функціонування.

Задачі ідентифікації БСТП являються пріоритетними в розробці алгоритмічних моделей цього класу об'єктів.

Задача ідентифікації та управління нелінійних динамічних систем до яких відносяться БСТП звичайно формулюється як задача синтезу оператора *F(·),* що найкращим чином зв'язує спостереження входу та виходу об’єкта

$$I = \langle x(t), y(t) \rangle \ (0 \le t \le T) \tag{1}$$

Критерій ефективності *Q(F)* оператора *F(·)* передбачається заданим, наприклад: у вигляді середньоквадратичного відхилення:

$$Q(F) = \int_0^T F[x(t) - y(t)]^2 h(t) dt \tag{2}$$

або максимальної похибки: $$Q(F) = \max_{0 \le t \le T} F[x(t) - y(t)] h(t), \tag{3}$$
де $h(t) > 0$ – вагова функція задачі, враховуючи інформативність вимірювально вибірки (1) в окремі моменти часу. При відсутності інформації про інформативність природно вважати, що $h(t) = 1$.

Таким чином, задача ідентифікації оператора *F(·)* зводиться до задачі мінімізації критерія ефективності шляхом вибору відповідного оператора *Q (F)* .

$$Q(F) \to \min_{F \in \Omega} \Rightarrow F^{*}(\cdot), \tag{4}$$

де *Ω* – задана множина допустимих операторів, а F^{*} – оптимальний оператор, що вирішує задачі ідентифікації та управління.

Але в такому загальному вигляді задачу ідентифікації та управління вирішувати дуже незручно. Її потрібно декомпозувати на задачу структурної та параметричної оцінки ідентифікації. Для цього представимо оператор *F(·)* у вигляді упорядкованої пари:

$$F(\,) = \langle S, C \rangle, \qquad K_s = 1, 2, \ldots, S \tag{5}$$

де – *S* структура, а $\mathbf{C=(c_И...,c_К)}$ – параметри цього оператора, K_s – число параметрів. Тепер задачу ідентифікації (4) можна представити у вигляді:

$$Q(S, C) \to \min_{S \in \Phi}; \min_{C \in \Theta_S} \Rightarrow \langle S^{*}, C_S^{*} \rangle = F^{*}(\cdot), \tag{6}$$

де *Ф* – множина допустимих структур ідентифікує мого оператора *F(·)* –множина допустимих значень параметрів структури (5), 5-оптимальна структура, *С* – оптимальні параметри цієї структури, то вони утворюють ідентифікований оператор $F(\cdot)$. Як видно, задача оцінки та ідентифікації зводиться до організації пошуку оптимальної структури та оптимальних значень параметрів.

Цей пошук в складних випадках доречно виконувати рекурентно, тобто:

$$F_{N+1}(\cdot) = F_N(\cdot) + \Delta F_{N-1}(\cdot) \quad , \tag{7}$$

де F_N – оператор на N кроці пошуку, а $\Delta F_{N-1}(\cdot)$ зміна цього оператора.

Процес організації такої зміни процедури

$$\Delta F_{N+1} = A(F_N, I) . \tag{8}$$

З рівняння (8), задача ефективної ідентифікації зводиться до вибору раціонального алгоритму ***A(·),*** який вирішує задачу (4), тобто зміни ΔF_N,

$$\lim F_N = F^*(\cdot), \tag{9}$$

де відбувається у відповідності з алгоритмом пошуку, який мінімізує оператора F_N.

Будемо розглядати ті алгоритми ***A(·)***, в яких спеціально введений елемент випадковості, тобто алгоритми випадкового пошуку. Вибір алгоритмів випадкового пошуку для ідентифікації пов'язаний з його окремими перевагами в порівнянні з регулярними алгоритмами розв'язання задач ідентифікації. Визначимо область задач, де доцільно застосовувати алгоритми випадкового пошуку. Ця область пов'язана, по-перше з багатоекстремальністю функції нев'язки, так як тільки випадковий пошук є надійнім та ефективним методом рекурентного рішення багатоекстремальних задач. З іншого боку, доцільність застосування випадкового пошуку пов'язана з високою варіабельністю $A(\cdot)$. Доведено, що при високій варіабельності приросту випадковий пошук перевершує детерміновані за швидкодією. Ідентифікований оператор представляється у вигляді.

$$Q(c) \to \min_{c \in \Theta_S} \Rightarrow C^*$$

Ідентифікований оператор представемо у вигляді:

$$F^*(x) = F_S(x, C^*) , \quad . \tag{11}$$

Розглянемо з початку параметричний пошук, коли структура визначена. В цьому випадку задача ідентифікації зводиться до стандартної задачі багатопараметричної оптимізації, де $F(\cdot)$- оператор заданої структури , параметри якого C - винесені в змінні. В цьому випадку мінімізуєма функція $\boldsymbol{Q(c)}$**,** як правило, має багатоекстремальний характер та її мінімізація повинна виконуватися методами випадкового глобального пошуку.

Наведемо приклад. Нехай оператор $F(\cdot)$ лінійний відносно ідентифікованих параметрів C:

$$Q(c) \to \min_{c \in \Theta_S} \Rightarrow C^* \tag{12}$$

$$S : \frac{dy}{dt} = \dot{Y} = \sum_{i=1}^{k} C_i \varphi_i (Y, X) , \tag{13}$$

де $Y = (y^{(p-1)}, ..., y) = (y_1, ..., y_p)$, $x = (x^{(1)} ..., x)$

– вектор похідних, $\{\varphi, (Y, X)\}$ – множина обраної системи векторних функцій двох векторних аргументів $У$ та X. Синтез такої системи відбувається на етапі визначення структури S, оператора $F(\cdot)$ та звичайно рішення якого представляє серйозні трудності. В розглянутому лінійному випадку задача (7) до розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь, якщо в якості мінімізованої функції $Q(c)$ взяти не (2), а

$$Q(c) = \int_0^t (\dot{Y}(t) - \sum_{i=1}^{K} C_i \varphi_i (Y(t), X(t)))^2 h(t) dt \to \min_C \tag{14}$$

де використані вимірювання значень входу та виходу об'єкта:

$$X = (x^{(l)}, ..., \dot{x}, x), \quad Y = (y^{(p-1)}, ..., \dot{y}, y) = (y_1, ..., y_p) \quad . \tag{15}$$

Отримані підстановкою (1) в (12) та (13), для розв'язання задачі (14) необхідно кратне чисельне диференціювання. (При використанні критерію (2) достатньо p-1 - кратного диференціювання).

Однак, навіть для лінійного випадку (11) функція нев'язкі (2) нелінійна відносно ідентифікованих параметрів, та має багатоекстремальнин характер, особливо при: – істотного обмеження вибірки (2); – неспівпадіння структури (наприклад, порядку) об'єкту та моделі; – наявність транспортного запізнення.

У випадку, якщо оператор *F(·)* нелінійний відносно ідентифікованих параметрів, тобто

$$\frac{dy}{dt} = \psi\ (Y,X,C), \tag{16}$$

де – задана нелінійна вектор-функція, то задача параметричної ідентифікації зводиться до мінімізації багато екстремальної функції (7), що практично можливо здійснити лише методами випадкового пошуку. Нелінійність оператора *F(·)* відносно ідентифікованих параметрів додає ще більшу багатоекстремальність.

Таким чином, процес визначення параметрів при фіксованій структурі *S* оператора *F(·)* призводить до необхідності застосування випадкового пошуку. Ще більша необхідність у випадковому пошуку виникає в задачах структурної ідентифікації.

Процес ідентифікації структури пов'язаний з варіацією оператора *F(·)*, зі зміною системи функцій розкладу множини $\{\varphi_ш, (Y, X)\}$, тобто з вибором такої системи, яка б найкращим чином відповідала б ідентифікованому об'єкту. Але такий підхід вимагає наступної параметричної ідентифікації параметрів *C*. Ці процедури можна поєднати, якщо уявити праву частину рівняння об'єкта в вигляді вектор-функції $\psi(У, X)$, що однозначно визначається опорною послідовністю

$$C = < Y^0, X_i^0, \psi_i^0 > \quad (i = 1, ..., q) \quad , \tag{17}$$

де ψ – векторне значення цієї функції при $X = X^\circ$ та $Y = Y_i^0$. Задача, таким чином, зводиться до побудови такої опорної послідовності (17) та правила визначення ψ для будь-яких значень пар (У,Х) (17).

Почнемо з останньої задачі ψ – визначення функції по опорній послідовності (17). Це будемо робити двояким чином. Метод зважування передбачає обчислення, як зваженої нормованої суми:

$$\psi(Y, X, C) = \frac{\sum_{i=1}^{q} \psi_i^0 \nu(/ Z_i^0 - Z /)}{\sum_{i=1}^{q} \nu(/ Z_i^0 - Z /)}, \tag{18}$$

де $Z = (У, X)$ – мірний вектор; $Z_i^0, = (У_i^0, X_i^0); \nu(\cdot)$ – скалярна вагова функція скалярного аргументу, яка володіє наступними властивостями: вона невід'ємна, максимальна з початку координат, монотонно вбиває та прямує до нуля. З цього слідує, завдання вагової функції $\nu(\cdot)$ та опорної послідовності (17) однозначно ідентифікує структуру та параметри моделі (16).

Метод багатомірної лінійної екстраполяції дозволяє визначити ψ інакше:

$$\psi(Y, X, C) = \sum_{i=1}^{K} \lambda_i \psi_{ji}^0 , \tag{19}$$

де коефіцієнти λ_i. $(i = 1,..., K \leq p + 1)$ є рішенням наступної мінімізації задачі

$$Q(Z - \sum_{i=1}^{\hat{k}} \lambda_i Z_{ji}^0) \to \min_{\sum_{i=1}^{k} \lambda_i = 1} , \qquad (20)$$

де $\boldsymbol{Q(\cdot)}$ – скалярна функція векторного аргументу, яка володіє властивостями відстані, наприклад $\boldsymbol{Q\ (Z) = / Z /^2}$ Вибір числа точок Z_{ji} $(i = 1,..., k)$ опорної послідовності (17), та викоритовуємих для (19). Може виконуватись різним чином, наприклад, це можуть бути k найближчих до Z точок за критерієм мінімуму відстані $\boldsymbol{Q}$ і так далі. Як видно, завдання функції $\boldsymbol{Q(\cdot)}$ та опорної послідовності (17) однозначно визначають функцію (19), аз цього виходить, що ідентифікують структуру та параметри моделі.

Тепер задача ідентифікації зведена до синтезу опорної послідовності (17), що здійснюється шляхом мінімізації функції нев'язки виду (2) або

$$Q(C) = \int_0^T \left[\dot{Y}(t) - \psi(Y(t), X(t), C)\right]^2 h(t)dt \to \min_{C \in R^{q(2p+l+1)}}, \qquad (21)$$

де $q(2p + l + 1)$ – розмірність вектора ідентифікуємих параметрів C. Замітимо, що число ідентифікуємих параметрів C можна значно скоротити, якщо фіксувати визначені значення опорної послідовності (17), наприклад беручи їх з початкових відстежувань (1).

Висновки

Запропоновано та розроблено алгоритмічну модель випадкового пошуку в задачах ідентифікації, управління багатостадійних технологічних процесів (БСТП) перемішування, подрібнення інгредієнтів фармацевтичних та харчових виробництв у нормальних та екстремальних станах свого функціонування. Алгоритмічна модель випадкового пошуку , що використовується в задачах ідентифікації та управління БСТП, відрізняється від відомих двома різновидами: взаємодії упорядкованого набору структурних одиниць, взаємодії усієї системи на чолі автоматизованої підтримки рішень, з частково упорядкованими критеріями якості функціонування системи.

Література

1. Растрыгин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами / Л.А. Растрыгин. – М.: Советское радио, 1980. – 232 с.

2. Растрыгин Л.А. Системы экстремального управления / Л.А. Растрыгин. – М.: Наука, 1974. – 630 с.

3. Левитин А.В. Алгоритмы: введение в разработку и анализ / А.В. Левитин, – пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2006. – 576 с.

4. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості: підруч. / А. П. Ладанюк, В.Г. Тригуб, І.В. Ельперін, В.Д. Цюцюра. – К.: Аграр. освіта, 2001. – 224 с.

5. Демченко, Т.А. Економіко-математичне моделювання активів фармацевтичних промислових підприємств / Т.А. Демченко // Актуальні проблеми економіки. – 2006. – № 8. – С. 196–205.