

УДК: 661.333(075)–048.34:005.337

Бобух А.О., Дзевочко О.М., Подустов М.О., Сляднева А.С.

АЛГОРИТМ СТРУКТУРНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ВИРОБНИЦТВА КАЛЬЦИНОВАНОЇ СОДИ

Вступ

Виробництво кальцированої соди за аміачним способом (ВКС) складається з основних та допоміжних об'єктів із складними технологічними процесами та апаратами хімічної технології з декількома замкненими циклами по аміаку та вуглекислому газу [1–2]. Наявність замкнених циклів значно ускладнює управління об'єктами ВКС, оскільки виникаючі «непередбачені» порушення технологічного процесу на одному об'єкті дуже швидко розповсюджується на другі, що викликає небажані відхилення цих процесів від норм технологічного регламенту.

Сучасний розвиток науково-технічного прогресу дозволяє розглядати основні принципи підвищення енергозбереження ВКС з покращанням якості управління за рахунок отримання адекватного математичного опису технологічних об'єктів при розробці та впровадженні комп'ютерно-інтегрованого управління цим виробництвом.

Мета роботи

Розробити алгоритм структурної ідентифікації на базі методу покрокової регресії, який був би економічним з точки зору необхідної для його реалізації кількості операцій, сприяв підвищенню енергозбереження з покращанням якості управління за рахунок отримання адекватного математичного опису технологічних об'єктів при розробці та впровадженні комп'ютерно-інтегрованого управління ВКС.

Основна частина

Процес визначення математичної моделі реального хіміко-технологічного об'єкта включає як його експериментальне дослідження, так і розробку алгоритмів, які передбачають визначення структури моделі (структурна ідентифікація), оцінку параметрів математичної моделі визначеної структури (параметрична ідентифікація) та оцінку адекватності цієї моделі реальному об'єкту [3–5].

Значні труднощі отримання адекватного математичного опису технологічних об'єктів ВКС завдають неконтрольовані зміни значень параметрів технологічних процесів, які викликані старінням обладнання, нестабільністю характеристик сировини тощо. При ідентифікації об'єктів ВКС статистичними лінійними за параметрами математичними моделями описується широкий клас об'єктів як статичних, так і динамічних, лінійних або нелінійних за незалежними параметрами. Практично більше використовуються нелінійні математичні моделі не вище другого порядку.

Підвищення точності ідентифікації об'єкта шляхом його опису математичними моделями статички з не лінійністю навіть до другого порядку приводе до багато розмірної задачі параметричної ідентифікації, а з урахуванням інерційності об'єктів отримують ще більше багато розмірні задачі.

Для виходу із цієї складної ситуації треба розробити алгоритми, які б забезпечували зменшення розмірності математичної моделі шляхом виключення із її структури незалежних параметрів (наприклад, парних добутків параметрів), які не забезпечують значного підвищення точності цієї моделі.

Алгоритм ідентифікації, що пропонується, має підвищену швидкодію та точність ідентифікації, а також може бути застосований для широкого класу не тільки статичних, але також динамічних систем.

Розглянуті особливості ідентифікації об'єктів ВКС сприяють визначенню завдання структурної ідентифікації.

Введемо деякі допущення:

1. задаємо клас операторів $A_k \in A$, якими можливо описати співвідношення поміж вхідними (незалежними) та вихідними (залежними) параметрами об'єктів, для яких виконується ідентифікація, тобто вигляд математичної моделі визначається рівнянням:

$$y = A_k(x), \quad (1)$$

де y – вихід (залежний параметр) об'єкту; $x = (x_1, \dots, x_k)^T$ – k – мірний вектор входів (незалежних) параметрів об'єкту; T – символ транспонування; A_k – оператор об'єкту, який треба визначити.

Практично в залежності від призначення математичної моделі (управління, прогнозування, оптимізації тощо) клас операторів задається евристично;

2. усі оператори A_k можливо апроксимувати на базі співвідношення:

$$A_k(x) = k^T \varphi(x), \quad (2)$$

де $k = (k_1, \dots, k_m)^T$ – m – мірний вектор k ; $\varphi(x) = (\varphi_1(x), \dots, \varphi_m(x))^T$; $\varphi(x)$ – m – мірний вектор, елементами якого є деякі функціональні перетворення від вхідних (незалежних) параметрів. Шляхом відповідного вибору елементів m – мірного вектору k , які дорівнюють нулю або деякій величині, яка не дорівнює нулю, можливо апроксимувати з достатнім ступенем точності будь-який з операторів $A_k \in A$ (для скорочення запису в подальшому $\varphi(x) = (\varphi_1(x), \dots, \varphi_m(x))^T$ будемо позначати φ). Розглянуте допущення вводимо для лінійної параметризації завдання ідентифікації, воно є поширеним способом апроксимації;

3. існує оператор $A_k^{\text{опт}} \in A$, який краще других операторів $A_k \in A$ описує об'єкт, який ідентифікують, та складається із елементів $\varphi^{\text{опт}} \supset \varphi$;

4. виходячи із того, що оператори A_k апроксимуються лінійною комбінацією елементів вектора (множини) φ , якість апроксимації справжнього оператора краще за все оцінювати коефіцієнтом множинної кореляції $R_{y/\varphi}^{\text{опп}}$;

5. якість оцінки параметрів математичної моделі краще за все визначати при

допомозі випуклого функціонала від різниці виходів цієї моделі та об'єкта.

За зазначених допущеннях формальна постановка завдання структурної ідентифікації визначається наступним чином:

із заданого класу операторів A необхідно вибрати оператор $A_k^{opt} \in A$ та оцінити його параметри, який складається із елементів $\varphi^{opt} \supset \varphi$, при цьому повинні виконуватися умови критерію:

$$R_{y/\varphi}^{opt} = \max R_{y/\varphi}; \quad \forall \varphi^j \subset \varphi; \quad j \leq r \leq m, \quad (3)$$

де j – кількість елементів в множині φ^j ; r – максимально допустиме значення j ; m – розмірність вектору φ ,

а потім визначити оцінку вектора k на основі оптимізації вибраного випуклого показника якості (різниця виходів цієї математичної моделі та об'єкту).

Наведена постановка завдання структурної ідентифікації стала початковою для розробки алгоритму, який здатний реагувати як на параметричну, а також на структурну не стаціонарність математичних моделей ВКС. Під структурною не стаціонарністю моделі будемо розуміти таку параметричну не стаціонарність, при якій деякі значимі параметри моделі можуть стати не значимими та/або навпаки.

Одним із таких алгоритмів може стати алгоритм структурної ідентифікації, який подібний алгоритму покрокової регресії [4–6], але реалізований шляхом рекурентного розрахунку коефіцієнтів часткової кореляції, що підвищує швидкість його розрахунку.

Для розробленого алгоритму прийняте співвідношення:

$$\frac{S_e^2}{S_y^2} = 1 - R_{y/\varphi^j} = \prod_{i=1}^r (1 - \rho_{y, \varphi_i, \varphi^{i-1}}), \quad \varphi_i \in \varphi \setminus \varphi^{i-1}, \quad (4)$$

де R_{y/φ^j} – коефіцієнт множинної кореляції; S_e^2 – оцінка дисперсії залишкової помилки математичної моделі; S_y^2 – оцінка дисперсії виходу об'єкта; $\rho_{y, \varphi_i, \varphi^{i-1}}$ – коефіцієнти часткової кореляції;

$$\rho_{y, \varphi_i, \varphi^{i-1}} = \frac{\rho_{y, \varphi_i, \varphi^{i-1}} - \rho_{y, \varphi_{i-1}, \varphi^{i-2}} \cdot \rho_{y, \varphi_{i-1}, \varphi^{i-2}}}{[(1 - \rho_{y, \varphi_{i-1}, \varphi^{i-2}})(1 - \rho_{y, \varphi_{i-1}, \varphi^{i-2}})]^{1/2}}, \quad (5)$$

$i-1$ – число елементів множини φ^{i-1} .

В формулах (4) та (5) припускається, що елементи множини φ підпорядковані та включені в множини φ^{i-1} послідовно $1, 2, \dots, i-1$ тим саме, обумовлено виконання умови $\varphi_i \in \varphi \setminus \varphi^{i-1}$.

На кожному кроці алгоритму (4) перевіряються умови зупинки вибору структури за рахунок зменшення кількості моделей, що розглядаються, тому:

на першому кроці визначаються усі моделі з одним незалежним параметром. Із цих моделей вибирається та модель, у якій значення критерію (3) максимальне;

на другому кроці до незалежного параметра в модель, яка вибрана на першому кроці, доповнюються один по одному усі незалежні параметри, що залишилися в множині φ^m (те ж саме виконується до $(i-1)$ -го кроку);

на i -тому кроці до незалежних параметрів, які вибрані в моделі на $(i-1)$ -му кроці, доповнюються по одному усі незалежні параметри, які залишилися в множині φ^{m-i+1} .

Після цього визначаються математичні моделі з i -ми незалежними параметрами, а із них вибирається математична модель, яка приведе до максимального значення критерію (3).

Процедура продовжується поки не буде виконаний критерій зупинки процесу вибору математичної моделі, але не більше r кроків, оскільки кількість незалежних параметрів в моделі повинно бути не більше r .

Кількість (k) математичних моделей за методом покрокової регресії, які треба переглянути, визначається за рівнянням [4–6]:

$$k = \sum_{i=1}^r (m - i + 1) + 1. \quad (6)$$

Для зупинки вибору математичної моделі за методом покрокової регресії мають місце дві різновидності критерію цього вибору, перша з них зв'язана із статистикою:

$$E_j = \frac{R_{y/\varphi^j}^2 - R_{y/\varphi^{j-1}}^2}{t - j - 1} \cdot \frac{1}{1 - R_{y/\varphi^{j-1}}^2}, \quad (7)$$

яка має розподілення Фішера [5] $F(1, t - j - 1)$. Гіпотеза про значимість приросту коефіцієнта множинної кореляції (тобто гіпотеза про необхідність продовження вибору моделі) сприймається, якщо

$$E_j > F(1, t - j - 1, \alpha), \quad (8)$$

де α – заданий рівень значимості.

Друга різновидність критерію вибору математичної моделі дозволяє припинити вибір моделі, якщо в множині $\varphi \setminus \varphi^i$ не залишилось елементів φ_k , для яких коефіцієнт кореляції з елементами φ^i менший заданого значення R_{\max} (який дорівнює 0,95–0,99).

Дослідження підтвердили [3], що розроблений алгоритм структурної ідентифікації (разом з двома різновидностями критерію вибору моделі) є економічним з точки зору необхідної для його реалізації кількості операцій, оскільки не потребує для вибору структури побудови адекватних математичних моделей.

Застосування цього алгоритму найбільше раціональне для отримання псевдо оп-

тимальної структури моделі та послідовного уточнення її параметрів.

Реалізація розробленого алгоритму може бути виконана на базі сучасних мікропроцесорних контролерів [7] при розробці комп'ютерно-інтегрованих об'єктів для енергозбереження ВКС.

Висновок

В результаті досліджень розроблений алгоритм структурної ідентифікації на базі методу покрокової регресії, який є економічним з точки зору необхідної для його реалізації кількості операцій, сприяє значному підвищенню енергозбереження з покращанням якості управління за рахунок отримання адекватного математичного опису технологічних об'єктів при розробці та впровадженні комп'ютерно-інтегрованого управління виробництвом кальцинованої соди за аміачним способом.

Література

1. Шокин И.Н. Технология соды [Текст] / И.Н. Шокин, С.А. Крашенинников. – М.: Химия. 1975. – 287 с.
2. Зайцев И.Д. Производство соды [Текст] / И.Д. Зайцев, Г.А. Ткач, Н.Д. Стоев. – М.: Химия. 1984. – 312 с.
3. Бобух А.А. Автоматизированная система управления технологическими процессами содового производства: Обзорная информация / А.А. Бобух, В.М. Момот, Л.А. Байбакова. – М.: НИИТЭХИМ. 1981. – 36 с.
4. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления [Текст] / П. Эйкхофф. – М.: Мир, 1975. – 680 с.
5. Цыпкин Я.З. Информационная теория идентификации [Текст] / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, 1995. – 336 с.
6. Тюкин И.Ю. Адаптация в нелинейных динамических системах: монография [Текст] / И.Ю. Тюкин, В.А. Терехов. – СПб.: ЛКИ, 2008. – 384 с.
7. Жук В.И. Микропроцессорные контроллеры и системы управления на их основе: опыт построения [Текст] / В.И. Жук. Энергетика и ТЭК. – 2010.- № 01 (82). – С. 41–43.

Bibliography (transliterated)

1. Shokin I.N. Tehnologiya sodyi [Tekst]. I.N. Shokin, S.A. Krashennnikov. – Moscow: Himiya, 1975. – 287 p.
2. Zaytsev I.D. Proizvodstvo sodyi [Tekst]. I.D. Zaytsev, G.A. Tkach, N.D. Stoev. – Moscow: Himiya. 1984. – 264 p.
3. Bobuh A.A. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya tehnologicheskimi protsessami sodovogo proizvodstva: Obzornaya informatsiya. A.A. Bobuh, V.M. Momot, L. A. Baybakova. – M.: NIITENIM. 1981. – 36 p.
4. Jejkhoff P (1975). Bases of authentication of control system [Osnovy identifikacii sistem upravlenija], Mir, Moscow, 680 p.
5. Cypkin Ja.Z. (1995). Informative theory of authentication [Informacionnaja teorija

identifikacii], Nauka, Moscow, 336 p.

6. Tjukin I.Ju., Terehov V.A. (2008). Adaptation in the nonlinear dynamic systems: monograph [Adaptacija v nelinejnyh dinamicheskikh sistemah: monografija], LKI, SPb, 384 p.

7. Zhuk V.I. (2010). Microprocessor-based comptrollers and control system on their basis: experience of construction [Mikroprocessornye kontrollery i sistemy upravlenija na ih osnove: opyt postroenija], Jenergetika i TJeK, № 01 (82), pp. 41–43.

УДК: 661.333(075)–048.34:005.337

Бобух А.А., Дзевочко А.М., Подустов М.А., Сляднева А.С.

АЛГОРИТМ СТРУКТУРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВА КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ

В результате исследований разработан алгоритм структурной идентификации на базе метода пошаговой регрессии, который является экономичным с точки зрения необходимого для его реализации числа операций, способствует значительному повышению энергосбережения с улучшением качества управления за счет получения адекватного математического описания технологических объектов при разработке и внедрении компьютерно-интегрированного управления производством кальцинированной соды по аммиачному способу.

Bobukh A.A., Dzevochko A.M., Podustov M.A., Slyadneva A.S.

ALGORITHM OF SODA ASH PRODUCTION OBJECTS STRUCTURAL IDENTIFICATION

The algorithm of structural identification on the basis of a step-by-step regression method, which is economic from the viewpoint of operations number, necessary for its implementation, and which promotes substantial increase of energy saving with improvement of management quality due to obtaining the adequate mathematical description of technological objects at development and deployment of the soda ash computer integrated production management on an ammoniac way, is developed as a result of researches.