

## ЗАДАЧІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО УПРАВЛІННЯ РОЗГАЛУЖЕНО-ЦИКЛІЧНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

**В.М. ДУБОВОЙ, І.В. ПИЛИПЕНКО, О.М. ЦИГАНЕНКО**

Роботу присвячено вирішенню проблеми управління розгалужено-циклічними технологічними процесами (РЦТП) на прикладі технологічного процесу хімічної чистки. Проаналізовано структуру процесу та базові структури підпроцесів РЦТП. Виділено саморегульовані процеси і такі, що не мають саморегулювання. Формалізовано задачі прийняття рішень щодо цих процесів, які ґрунтуються на моделюванні структури РЦТП та його підпроцесів. Модель подано у вигляді системи рівнянь. Задачу прийняття рішень під час управління РЦТП зведено до задачі дискретної оптимізації на основі критерію ефективності. Як критерій ефективності використана інтенсивність отримання прибутку з урахуванням ймовірності помилкових рішень. Велика розмірність і нелінійність системи, нечіткість більшості описів підпроцесів та полімодальність критерію зумовлюють необхідність побудови імітаційної моделі РЦТП у складі системи управління. Наведено основні етапи управління РЦТП. Подано узагальнений алгоритм прийняття рішень із використанням імітаційної моделі. Алгоритм передбачає корекцію моделі після виконання кожного підпроцесу.

### ВСТУП

Велике розмаїття типів технологічних процесів зі складними зв'язками між результатами виконання окремих етапів та операцій зумовлює необхідність створення відповідно різноманітних структур і алгоритмів автоматизованих систем управління. Одним із найскладніших типів технологічних процесів є розгалужено-циклічні технологічні процеси (РЦТП) [1]. *Проблема управління такими процесами є актуальною у зв'язку з їх поширенням у промисловості. Особливістю управління ними є те, що в кінці кожної операції такого процесу приймаються рішення щодо переходів до наступної стадії. Традиційні підходи до прийняття рішень (теорія ігор [2], теорія статистичних рішень [2], нечіткий висновок [3] тощо) не дозволяють у повній мірі врахувати вплив структури процесу і взаємну залежність окремих рішень.*

**Мета роботи** — формалізація задач прийняття рішень щодо управління розгалужено-циклічними технологічними процесами.

Розглянемо таку формалізацію на прикладі управління технологічним процесом хімічної чистки. Можна виділити п'ять основних стадій технологічного процесу хімічної чистки, показаних на рис. 1:

- прийом виробів;
- сортування виробів;
- попередня зачистка;
- хімічна чистка в машині;
- обробні операції.

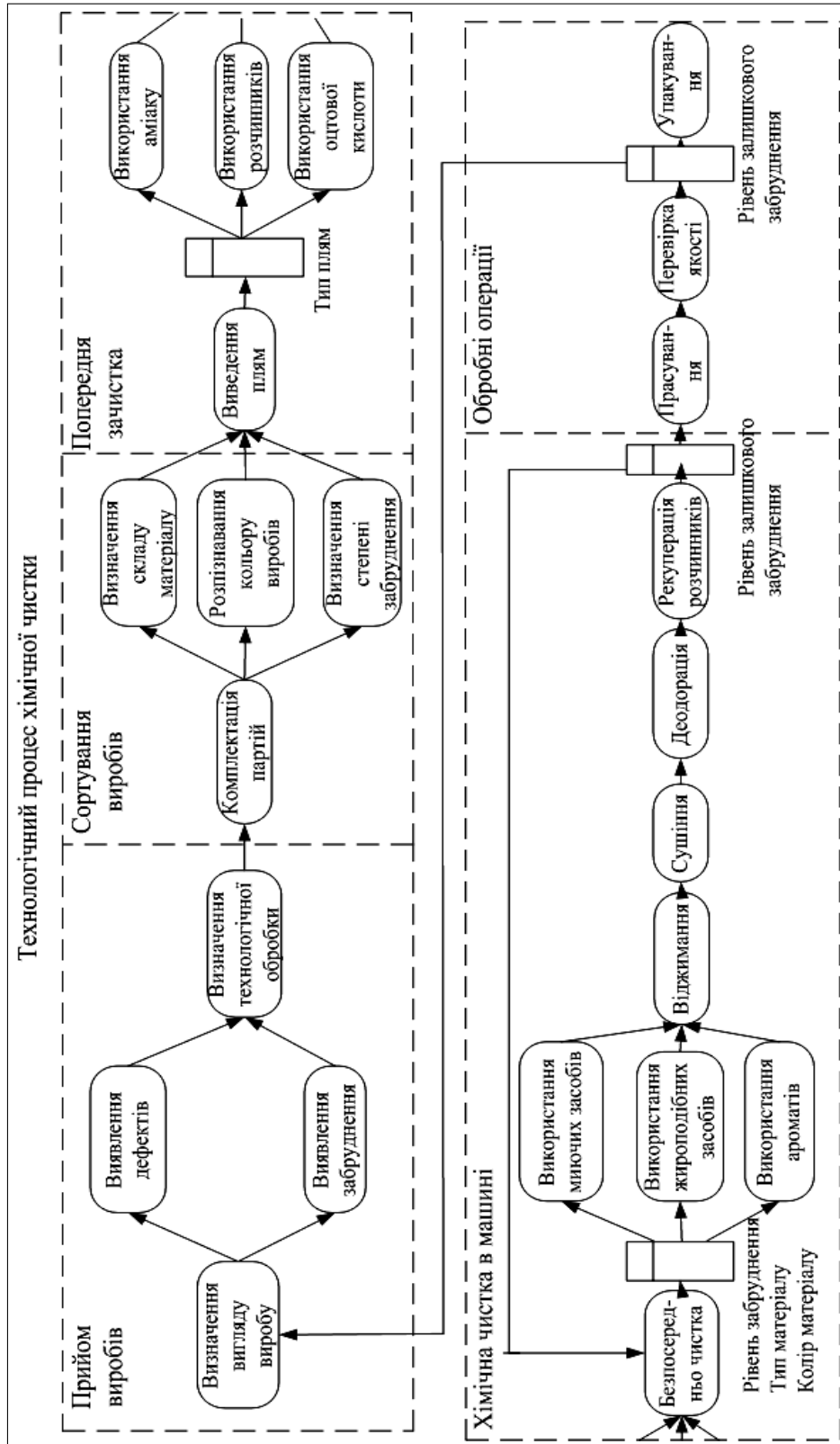


Рис. 1. Структура технологічного процесу хімічної чистки

На деяких етапах технологічного процесу на основі визначення параметрів вхідних матеріалів, зовнішніх факторів та інших обставин приймаються рішення щодо виконання подальших операцій. Зокрема, у взятому для прикладу РЦТП такі рішення приймаються на етапах виведення плям (на основі визначення типу плям), вибору миючих засобів (на основі визначення рівня забруднення, типу матеріалу та його кольору) та перевірки якості (на основі рівня залишкового забруднення). Помилкові рішення призводять до втрат, які складаються з додаткових витрат праці, часу, матеріалів та появи невірного браку. Ефективність РЦТП визначається його продуктивністю і собівартістю, які при заданому технологічному рівні залежать від якості рішень.

Задача прийняття рішень на основі критерію ефективності має оптимізаційний характер.

Отримаємо формалізовану постановку задачі прийняття рішень під час управління РЦТП загального виду.

Аналіз структури РЦТП показує, що такі процеси можуть бути розкладені на підпроцеси з трьома базовими структурами, що проілюстровані на рис. 2. Вони складаються з двох типів елементів:

- власне підпроцес, зображений овалом;
- контроль стану і прийняття рішення, зображений прямокутником.

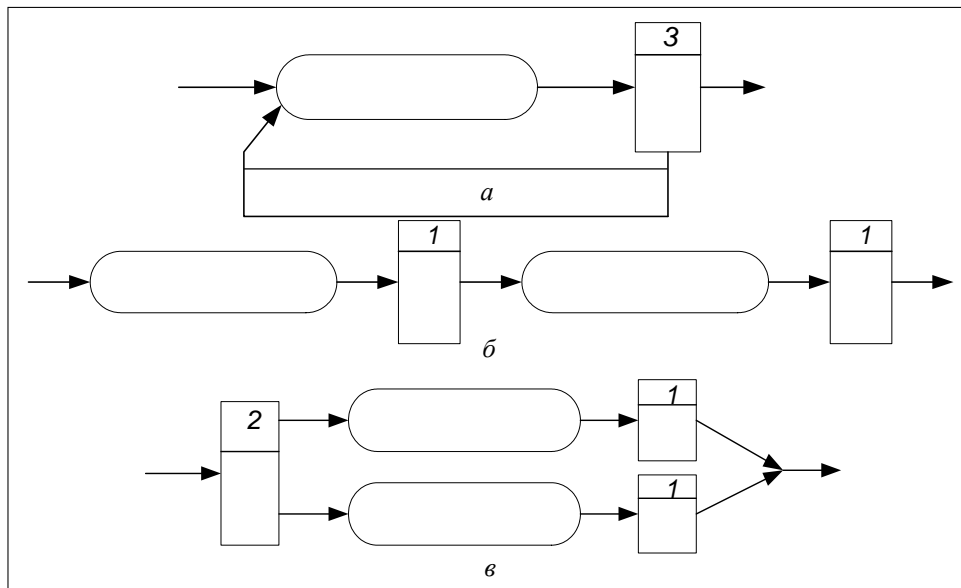


Рис. 2. Базові структури підпроцесів РЦТП: *a* — циклічна; *б* — послідовна; *в* — розгалужена

Кожен підпроцес в свою чергу може бути розкладений на аналогічні елементи і структури. Таким чином будується структура процесу будь-якої складності.

Рішення, що приймаються на кожному етапі, розділяються на 3 типи (рис. 2):

- Трьохальтернативне рішення  $\{d^I, d^{II}, d^{III}\}$ : продовжити виконання підпроцесу, повторити виконання підпроцесу або завершити виконання підпроцесу.

- Двохальтернативне рішення  $\{d^I, d^{II}\}$ : продовжувати або припинити виконання підпроцесу.

- Трьохальтернативне рішення  $\{d^I, d^{II}, d^{III}\}$ : продовжувати виконання підпроцесу або припинити і перейти до виконання одного з двох підпроцесів.

Результати виконання кожного підпроцесу впливають на всі наступні рішення і підпроцеси. Ця залежність може бути формалізована у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{cases} \bar{X}_{\text{вих}i} = F_i(\bar{X}_{\text{вх}i}, t_i), \\ d_i = R_i(\bar{X}_{\text{вих}i}, t_i), \\ s_{ij} = D(d_i), \\ \bar{X}_{\text{вх}s_{ij}} = \bar{X}_{\text{вих}i}, \end{cases} \quad i = 1, \dots, n, \quad (1)$$

де  $n$  — кількість підпроцесів;  $\bar{X}_{\text{вх}i}$  — вектор вхідних характеристик  $i$ -го підпроцесу;  $\bar{X}_{\text{вих}i}$  — вектор вихідних характеристик  $i$ -го підпроцесу;  $d_i$  — рішення, яке приймається по завершенню  $i$ -го підпроцесу;  $s_{ij}$  — елемент матриці переходів між підпроцесами, який реалізується в результаті вибору рішення  $d_i$ ;  $t_i$  — час виконання  $i$ -го підпроцесу;  $R_i$  — вирішальна функція.

Правило  $D$  для структур, зображених на рис. 2, матиме вигляд:

- для рис.2, а :

$$D: \begin{cases} \text{якщо } d_i = d^I, & \text{то } s_{ij} = 0, \\ \text{якщо } d_i = d^{II}, & \text{то } s_{ij} = i, \\ \text{якщо } d_i = d^{III}, & \text{то } s_{ij} = i + 1, \end{cases}$$

- для рис.2, б :

$$D: \begin{cases} \text{якщо } d_i = d^I, & \text{то } s_{ij} = 0, \\ \text{якщо } d_i = d^{II}, & \text{то } s_{ij} = i + 1, \end{cases}$$

- для рис.2, в :

$$D: \begin{cases} \text{якщо } d_i = d^I, & \text{то } s_{ij} = 0, \\ \text{якщо } d_i = d^{II}, & \text{то } s_{ij} = i + 1, \\ \text{якщо } d_i = d^{III}, & \text{то } s_{ij} = i + 1 + 2. \end{cases}$$

Невірні рішення призводять до надходження на вхід наступного підпроцесу матеріалу, який за своїми параметрами  $\bar{X}_{\text{вх}i} = \bar{X}_{\text{вих}i-1}$  відхиляється від оптимальних значень. Залежно від впливу вхідних параметрів кожного підпроцесу на його результат, усі підпроцеси можна розділити на такі, що саморегулюються (результат  $\bar{X}_{\text{вих}i}$  не залежить від відхилень вхідних характеристик) і такі, що не мають саморегулювання. Саморегулювання

пов'язане з додатковими витратами часу, енергії та матеріалів, а відсутність саморегулювання призводить до зниження якості результату, а отже і його вартості. Позначимо функцію додаткових витрат  $\Delta C_i(\Delta \bar{X}_{\text{вих}i})$ , а функцію зниження вартості —  $\Delta P_i(\Delta \bar{X}_{\text{вих}i})$ . Більшість процесів є проміжними, тобто залежність  $\bar{X}_{\text{вих}i} = f_i(x_{\text{вих}ik})$  вектора вихідних характеристик від окремого ( $k$ -го) вхідного параметра має зону нечутливості  $(x_{\text{вих}ik}, \bar{x}_{\text{вих}ik})$ , причому ця зона нечутливості для кожного параметра різна (для деяких параметрів її може бракувати — повна відсутність саморегулювання).

Задача управління РЦТП полягає у оптимізації вектора рішень  $\{d\}$  на основі критерію його ефективності:

$$\max_{\{d\}} E[\{\bar{X}_{\text{вих}}\}, \{t\}, \{d\}]. \quad (2)$$

Прийmemo за критерій ефективності швидкість (інтенсивність) отримання прибутку від виконання РЦТП:

$$E = \frac{P - C}{T}, \quad (3)$$

де  $P$  — вартість результату;  $C$  — витрати на РЦТП;  $T$  — загальний час виконання РЦТП.

Очевидно, вартість результату залежить від параметрів результату  $P(\bar{X}_{\text{вих}})$ .

Витрати залежать від витрат на кожній стадії РЦТП і кількості циклів.

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n c_{ij}, \quad j \in S_i(d),$$

де  $n$  — кількість стадій, яка залежить від прийняття рішень наприкінці кожної стадії;  $N$  — кількість циклів;  $c_{ij}$  — вартість виконання підпроцесу на  $j$ -й стадії  $i$ -го циклу;  $S_i$  — послідовність підпроцесів на  $i$ -му циклі.

Витрати на окремий підпроцес залежать від кількості і якості контрольних операцій для визначення вихідних характеристик, які необхідні для прийняття рішення відповідно до моделі (1). Якість контрольних операцій характеризується невизначеністю результату. Невизначеність у загальному випадку характеризується функцією невизначеності похибки  $\beta_i(\Delta \bar{X}_{\text{вих}i} / \bar{X}_{\text{вих}i})$  за умови певного значення вектора результату підпроцесу, яка для експериментального контролю визначається розподілом ймовірності, а для експертного контролю — функцією належності результату.

Ймовірність помилки при прийнятті рішень залежить від невизначеності контрольних операцій.

Витрати на контрольні операції знаходяться у оберненій експоненціальній залежності від середнього квадратного відхилення функції невизначеності

$$C_{\kappa i} = C_{0i}(1 - \log_{D_i}(\sqrt{12}\sigma_i)),$$

де  $C_{0i}$  — коефіцієнт, який визначає рівень вартості окремого виду контролю;  $D_i$  — діапазон контролю;  $\sigma_i$  — середнє квадратне відхилення функції невизначеності.

Очевидно, коли функція невизначеності результату контролю має діапазон  $\sqrt{12}\sigma_i$  (діапазон функції рівномірного розподілу), який дорівнює діапазону можливих значень контрольованого параметра (діапазон контролю  $D_i$ ), то здійснювати контроль немає сенсу, отже його вартість дорівнюватиме нулю.

Аналогічно складовою загальних витрат часу є витрати на здійснення контрольних операцій.

Час виконання РЦТП визначається часом кожного підпроцесу  $\tau_i$  та прийнятими рішеннями:

$$T = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n \tau_i, \quad j \in S_i(d).$$

Велика розмірність і нелінійність системи рівнянь (1), нечіткість більшості описів підпроцесів і, в загальному випадку, полімодальність критерію (2)–(3) зумовлюють необхідність побудови імітаційної моделі РЦТП у складі системи управління.

Узагальнений алгоритм прийняття рішень із використанням імітаційної моделі:

1. Задати початкові дані:
  - моделі підпроцесів  $F_i$ ;
  - правила прийняття рішень  $R_i$ ;
  - функцію додаткових витрат  $\Delta C_i(\Delta \bar{X}_{\text{вх } i})$  та функцію зниження вартості  $\Delta P_i(\Delta \bar{X}_{\text{вих } i})$ ;
  - функції невизначеності результатів контролю  $\beta_i(\Delta \bar{X}_{\text{вих } i} / \bar{X}_{\text{вих } i})$ .
2. Взяти за точку входу в РЦТП перший підпроцес  $k = 1$ .
3. Задати параметри вхідної сировини початкового підпроцесу  $\bar{X}_{\text{вх } k}$ .
4. Почати з першого підпроцесу ( $i = k$ ).
5. Розрахувати параметри результату підпроцесу  $\bar{X}_{\text{вих } i} = F_i(\bar{X}_{\text{вх } i}, t_i)$ .
6. Згенерувати результати контролю за функцією невизначеності  $\beta_i(\Delta \bar{X}_{\text{вих } i} / \bar{X}_{\text{вих } i})$ .
7. Визначити рішення за правилом  $d_i = R_i(\bar{X}_{\text{вих } i}, t_i)$ .
8. Визначити наступний підпроцес за правилом  $s_{ij} = D(d_i)$  відповідно до структури РЦТП.
9. Розрахувати складові ефективності  $\Delta C_i(\Delta \bar{X}_{\text{вх } i})$  та  $t_i$ .
10. Якщо змодельований підпроцес не останній ( $s_{ij} \leq n$ ), то здійснити переприсвоєння значень ( $i = s_{ij}$ ) та ( $\bar{X}_{\text{вх } s_{ij}} = \bar{X}_{\text{вих } i}$ ) й повернутися до пункту 5.

11. Розрахувати складові ефективності й загальний показник  $E$ .
12. Повторити моделювання достатньої кількості разів для статистичної збіжності.
13. Обрати рішення, яке забезпечує максимум ефективності на черговому етапі прийняття рішень.
14. Якщо РЦТП не закінчений, то взяти за початковий наступний під процес ( $\text{inc}(k)$ ) й повернутися до пункту 3.

Наведений алгоритм застосування імітаційного моделювання дозволяє приймати оптимальні рішення при управлінні РЦТП із корекцією моделі після виконання кожного підпроцесу шляхом задавання реальних параметрів вхідної сировини наступного підпроцесу  $\bar{X}_{\text{вх}k}$ .

## ВИСНОВКИ

Формалізація задач прийняття рішень щодо управління розгалужено-циклічними технологічними процесами зводиться до аналізу структури самого процесу та структур його підпроцесів. Рішення приймається залежно від стадій та операцій, що відповідають цим стадіям. Результати виконання кожного підпроцесу впливають на всі наступні рішення і підпроцеси. У роботі показано залежність підпроцесів у вигляді системи рівнянь. Основною задачею управління РЦТП є оптимізація на основі критерію ефективності. Велика розмірність і нелінійність системи, нечіткість більшості описів підпроцесів і полімодальність критерію зумовлюють необхідність побудови імітаційної моделі РЦТП у складі системи управління.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Дурман М.О. Моделі та методи інформаційної підтримки прийняття рішень в управлінні складними технологічними процесами: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.06. «Автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології». — Харків, 2000. — 19 с.
2. Гнатієнко Г.М., Снитюка В.Є. Експертні технології прийняття рішень. Монографія. — К.: Маклаут, 2008. — 444 с.
3. Кондратенко Ю.П., Сидоренко С.А. Системи підтримки прийняття рішень на основі пристроїв з нечіткою логікою // Збірник наукових праць УДМТУ. — 1999. — Вип. 4. — С. 123–135.

Надійшла 07.06.2011