

ДК 681.513.8

А.П. Ладанюк, проф., д.т.н.
Д.А. Шумигай, аспірант
Р.О. Бойко, аспірант
НУХТ, Київ

Системна задача координації в технологічних комплексах неперервного типу

В статті розглядається підхід до постановки розширеної задачі координації в технологічних комплексах неперервного типу. Зокрема розглядається складний технологічний комплекс цукрового заводу. Описані основні особливості вирішення поставленої задачі координації.

ключові слова: принципи координації, підсистеми технологічного комплексу, нечіткі знання, часові ряди, функція мети.

Вступ

Технологічні комплекси (ТК) неперервного типу, зокрема технологічний комплекс цукрового заводу, з точки зору задач управління відрізняються багатовимірністю, наявністю окремих стадій переробки сировини та напівпродуктів, складними зв'язками між стадіями, які реалізуються на технологічному обладнанні великої одиничної потужності. При цьому автоматизація окремих стадій ТК (дільниць, підсистем) не дає можливості досягти високих техніко-економічних показників роботи ТК в цілому, тому що вони залежать багато в чому від взаємних зв'язків між підсистемами ТК, що об'єктивно приводить до необхідності розробки задачі координації роботи управляємих підсистем.

Постановка задачі

В статті розглядається підхід до постановки та вирішення задачі координації в ТК неперервного типу. Для побудови структури управління використовується метод декомпозиції, що дозволяє розглядати ТК як сукупність підсистем. З точки зору задач управління в складі ТК існує оптимальна кількість підсистем: при збільшенні їх числа задача управління кожною підсистемою спрощується, але значно зростають витрати на координацію їх роботи [1]. Розв'язанням задачі координації є визначення взаємодії підсистем, при яких управління, оптимальні за критеріями ефективності кожної з підсистем, є також оптимальними за загальним критерієм для ТК в цілому.

Методика дослідження

Координація є специфічною задачею ієрархічної системи управління та на сьогодні використовує ряд принципів [2], на яких засновані ітеративні та безітеративні процедури розв'язання поставленої задачі. Основними є принципи:

- прогнозування взаємодій, коли координація здійснюється шляхом задання змінних взаємодії координуємих підсистем (це відповідає проміжним завданням);
- узгодження взаємодій, який передбачає модифікацію локальних функцій мети за допомогою параметрів, які задаються координатором (це відповідає проміжним цінам);
- оцінки взаємодій, який можна розглядати як узагальнення принципу прогнозування взаємодій на випадок, коли в підзадачах нижнього рівня координатором задаються області допустимих значень змінних взаємодії підсистем

Складна система управління складається з різноманітних елементів - керуючих центрів, які виникають у результаті горизонтального та вертикального розподілу

функцій. В багаторівневих ієрархічних системах управління задачі узгодження та координації рішень приймаються на всіх рівнях керування.

Найбільш відома дворівнева структура системи управління ТК має такий вигляд [3].

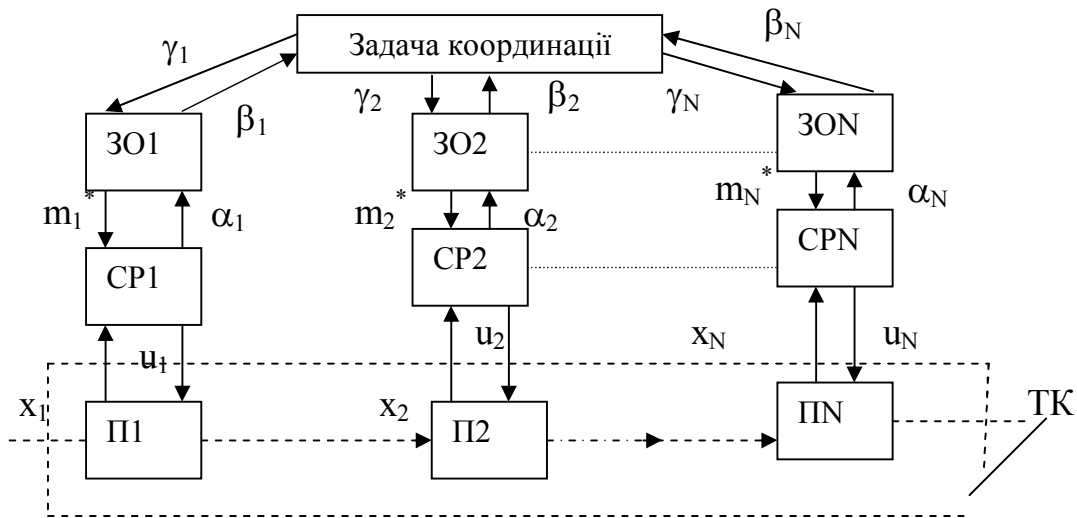


Рис.1. Структура системи управління ТК

α_i – вектор агрегованих змінних для i -ої підсистеми; m_i^* – вектор управління (завдання змінних стану), визначений в i -й задачі оптимізації; γ_i – параметр координації; β_i – вектор інформації про оптимізацію i -тої підсистеми; ЗО – задача оптимізації; СР- система регулювання,

П – підсистема ТК; x_i – координати стану або вихідні змінні; u_i – управління.

Зважаючи на складність ТК цукрового заводу, доцільно розглядати розширену дворівневу задачу координації, де вирішується загальна або глобальна задача на рівні підсистем і локальна або внутрішня – координація на рівні окремої підсистеми.

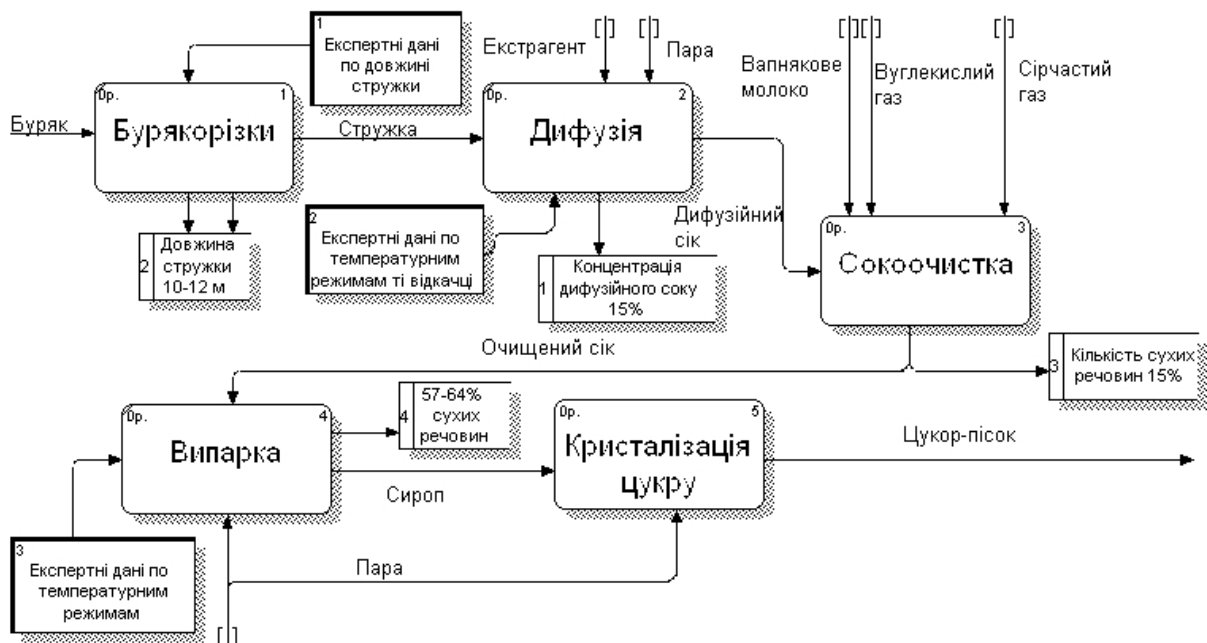


Рис. 2. Структура ТК цукрового заводу

На рис. 2 за допомогою Data Flow Diagram (DFD) відображено складну ієрархічну структуру ТК цукрового заводу, для якого задачу глобальної координації слід розглядати як узгодження дії основних відділень (дифузійного, сокоочистного, випарного), а задачу локальної координації – узгодження дій на відповідних

відділеннях. Наприклад, на відділенні сокоочистки підсистемами узгодження для вирішення задачі локальної координації є переддефекація, дефекація, I,II сатурація, сульфитація, причому кожний з цих процесів має свою задачу оптимізації.

Для постановки задачі координації необхідно провести аналіз досліджуваного ТК (наприклад, за допомогою DFD), виділити підсистеми, сформувавши комплекс на основі виділених підсистем. Для розв'язання задачі координації складних об'єктів, насамперед технологічних комплексів (ТК), завжди виникає задача оцінки їх стану, що викликано неперервною зміною як зовнішнього середовища, так і параметрів об'єкта. Таким чином, об'єкти керування є динамічними, для опису їх стану використовуються динамічні моделі – як детерміновані, так і стохастичні. Методи аналізу динаміки складних динамічних об'єктів включають: детерміновані, статистичні, ймовірнісні, логічні, нечіткі та нейромережеві моделі [4].

Особлива увага приділяється отриманню та обробці знань, які відносяться до так званих нефакторів, тобто з невизначеністю, неточністю, нечіткістю[5]. Такі знання подаються кортежем [6]:

$$Z_{ne} = (Z_1, Z_2, Z_3), \quad (1)$$

для яких використовуються комбіновані методи їх отримання від експертів, з проблемно-орієнтованих текстів на природній мові та з баз даних. Нечіткі знання з невизначеністю Z_1 отримують на основі процедур, які передбачають визначення коефіцієнтів достовірності в інтервалах $[0,1]$ і можуть мати межі $[a;b]$ з $[0,1]$. Для умов цукрового заводу до таких знань відносяться: вміст цукру в буряках, вихід цукру на певному інтервалі часу, ціни на сировину, енергоносії та готову продукцію, тощо. До знань Z_2 відносяться неточності, якими характеризуються числові величини, отримані насамперед з вимірювальних приладів певного класу точності. Це передусім технологічні змінні: температура, рівень, тиск, витрати тощо. Знання Z_3 характеризуються лінгвістичними змінними з певними функціями належності та нечіткими лінгвістичними термами («високий», «низький», «середній»).

Відомим методом опису знань з невизначеністю є модель подання знань з коефіцієнтами невизначеності, які відповідають твердженням, що входять в посилення та наслідки правил для відображення закономірностей у проблемній області. Наприклад, використовуються методи Байєса та Демпстера-Шейфера, коли значенням параметрів приписується один коефіцієнт невизначеності.

Метод Демпстера-Шейфера застосовується, коли в результаті процедури Z_1 значенням змінних або фактам приписується інтервал, тобто два коефіцієнта невизначеності (впевненість n та можливість p). Тоді об'єднаний інтервал невизначеності твердження H на основі двох правил $E_1 \rightarrow H$ та $E_2 \rightarrow H$, який дає оцінки $[n_1, p_1]$ та $[n_2, p_2]$, має межі [6]:

$$n = \frac{n_1 p_2 + n_2 p_1 - n_1 n_2}{1 - n_1(1 - p_2) - n_2(1 - p_1)}; p = \frac{p_1 p_2}{1 - (1 - p_2) - n_2(1 - p_1)} \quad (2)$$

В методі Демпстера-Шейфера коефіцієнти впевненості та можливості трактуються виключно як суб'єктивні оцінки експерта і обидві оцінки можуть приймати значення «одиниця» для достовірних тверджень, тобто не потрібно в базу знань крім правил заносити інформацію щодо апріорних ймовірностей подій.

При отриманні неточних даних від датчиків та вимірювальних приладів, неточність числового значення оцінюється коефіцієнтом в інтервалі $[0;1]$, а результати розрахунку визначають за формулами для абсолютних похибок на основі диференціала складної функції $z = f(x, y)$:

$$\Delta f(x, y) = \left| \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \right| \Delta x + \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \Delta y, \quad (3)$$

$$\varepsilon(x, y) = \frac{\Delta f(x, y)}{f(x, y)}$$

Нарешті, для знань Z_3 головною задачею є визначення функцій належності нечітких лінгвістичних термів та їх опис. Для конкретної проблемної області доцільно створити словник природно-мовних термінів, які часто використовуються в даній системі, наприклад оцінки кількісних величин. Функції належності подаються кусково-лінійними залежностями у вигляді множини пар точок $(x_i, \mu(x_i)), i = \{1, \dots, n\}$, x_i – елемент нечіткої множини; μ – функція належності. В базі знань значення функції належності $\mu = 0$ трактується як неправдиве; $\mu = 1$ – істина, $\mu = 0,5$ – повна невизначеність.

В технічній літературі для визначення множини станів функціонування динамічного об'єкта використовують різні підходи: підмножина фазового простору з певними властивостями (обмеженнями); сегмент часового ряду; узагальнений опис особливостей фазової траєкторії [7]. Таким чином, розпізнавання станів складного динамічного об'єкта потребує використання сучасних методів, насамперед, розробки інтелектуальних інформаційних моделей на основі інформації у вигляді часового ряду, який може бути нестационарним з нелінійним трендом.

Для кожної підсистеми формується функція мети $\varphi_i(U_i, X_i)$, де U_i – управлінські дії, X_i – координати стану (вихідні змінні) відповідних підсистем. Для знаходження функції мети потрібно знати відповідні управлінські дії і координати стану об'єкта. Оцінку стану складного динамічного об'єкта можна зробити на основі аналізу часових рядів – статистичних оцінок та випадкових сигналів. Випадковий процес задається у вигляді, який характеризує стан об'єкта:

$$\{X, Y\} = \{X(t), Y(t), t_1 \leq t \leq t_2\}, Y(t) = f(x(t), \zeta(t)) \quad (4)$$

де: X – вектор змінних стану об'єкта, який не спостерігається; $Y(t)$ – випадкова векторна функція, яка спостерігається (може бути $Y(t) = X(t)$); $\zeta(t)$ – шум (перешкода) достатньо загальної природи з обмеженою дисперсією. Приймається, що часовий фрагмент реалізації випадкового процесу може знаходитись в одній із заданих експертом або за навчальною вибіркою областей (класів) $\Omega_i, i = \overline{1, I}$. При цьому виділено $I > 1$ альтернативних гіпотез $\Omega = \{\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_i\}$, які характеризують повну групу подій та інтерпретуються як класи станів об'єкта. На реальному об'єкті або його моделі спостерігається випадковий процес у дискретні моменти часу, $t \in \{t_0, t_1, \dots, t_N\}, t_j = t_0 + j\Delta; j = \overline{0, N}$. Δ – інтервал дискретизації, $\Delta > 0$. Тоді значення реалізації $Y(t)$ на інтервалі $[t_1, t_2]$, відноситься до класу $\Omega_i, i = \overline{1, I}$.

Для визначення стану об'єкта доцільно використовувати контрольні карти, оскільки їх аналіз інтерпретується як:

- сигнал про те, що в процесі відбулися деякі зміни;
 - в якості оцінки величини зміни, для усунення якої необхідна коригувальна дія;
 - для визначення оцінок числа подібних випадків в минулому і визначення на їх основі причин, що викликали ці зміни;
 - як міра якості продукції для класифікації по періодам [8].
- Наприклад, для процесу екстрагування функція мети має вигляд [9]:

$$FE = C_0 \cdot G_{cmp} (CX_0 - P_{ж} - P_{фр} - \frac{CX_0(G_{св} - G_{cmp})}{G_{cmp}}) - 3.047G_{cmp} HСХ - G_{св} C_{св} + 0.0217G_c C_{вс} - 0.24G_c G_{уз} - 1.689 \cdot pH \cdot G_{cmp} \quad (5)$$

де: C_0 - ціна цукру (оптова), крб/т; G_{cmp} - витрати стружки, т/год; $G_{cmp} = 104 - 130$; CX_0 - вміст цукру в стружці, %; $CX_0 = 14 - 20$; $P_{ж}$ - втрати цукру в жомі, %; $P_{ж} = 0.3 - 0.6$; $P_{фр}$ - втрати цукру від ферментації та мікробіологічного розкладання, %; $P_{фр} = 0.05 - 2.5$; $G_{св}$ - витрата буряків, т/год; $G_{св} = 125$; $HСХ$ - вміст несахарів в соці, %; $HСХ = 2 - 8$; $C_{св}$ - закупочна ціна буряків, крб/т; $C_{вс}$ - вміст сухих речовин в соці, %; $C_{вс} = 6 - 16$; $G_{уз}$ - витрата вапна, %; $G_{уз} = 1.5 - 5.0$; pH - рН в характерній точці апарата, од.рН; $pH = 5.8 - 6.6$; G_c - витрата дифузійного соку, т/год; $G_c = 137 - 175$.

Тоді загальну задачу оптимального управління ТК як комплексом підсистем запишемо у вигляді адитивної згортки:

$$\max(\sum \varphi_i(U_i, X_i)) = \max \varphi(U, X) \quad (6)$$

$$\{U_i, X_i\}, i = \overline{1, N}$$

де N – кількість підсистем.

Загальна задача оптимального управління ТК може приймати й інший вигляд в залежності від вибору глобального критерію. Найчастіше в якості глобальних критеріїв застосовуються - адитивні, мультиплікативні і мінімаксні критерії.

Адитивний глобальний критерій якості визначається таким чином :

$$F(x, u) = \sum_{j=1}^N L_j f_j(x, u) \quad (7)$$

де N - кількість критеріїв ефективності підсистем

$$0 < L_j < 1 \text{ і } \sum_{j=1}^N L_j = 1 \quad (8)$$

Вагові коефіцієнти L для критеріїв підсистем підбираються суб'єктивно, на основі експертних оцінок.

Мультиплікативний глобальний критерій має вигляд

$$F(x, u) = \sqrt[N]{\prod_{j=1}^N L_j f_j(x, u)} \quad (9)$$

а мінімаксний

$$F(x, u) = \min \max(f_1(x, u), \dots, f_N(x, u)) \quad (10)$$

Основні принципи координації - це взаємозв'язок і одночасність, ієрархічна підпорядкованість, узгодження, збалансованість, рівновага, резервування, єдність команд і дій, загальна ціль.

Для ефективного функціонування системи управління ТК важливими є умови координуєності та сумісності підзадач управління. Ці умови гарантують розв'язання загальної задачі, якщо існує розв'язок кожної з підзадач. В загальному випадку постулат сумісності для двохрівневої системи управління формується так: підзадачі системи сумісні, якщо реалізація рішень підзадач нижнього рівня завжди забезпечує досягнення загальної мети функціонування системи.

Якщо припустити, що існує розв'язок загальної задачі управління ТК, то існують і розв'язки підзадач оптимального управління підсистем та координації їх роботи.

Ще однією умовою є коректність загальної задачі та підзадач управління в ієрархічній системі.

Задача управління розв'язується багатократно в реальному масштабі часу, тому вирішальними є такі вимоги: висока ймовірність (частота) знаходження глобального

оптимуму при оптимізації підсистем; висока швидкість збіжності до оптимального рішення; можливість починати роботу з точок, які лежать поза межами допустимої області.

Для пошуку оптимального рішення при визначенні режимів роботи підсистем рекомендуються модифікований метод Бокса та симплексний метод Нелдера-Міда, для знаходження глобального критерія - метод приведенного градієнта [6].

Результати та висновки

Для досягнення кращих показників ефективності функціонування складних технологічних комплексів варто розглядати ТК як сукупність підсистем, які мають свої задачі оптимізації, а на верхньому рівні вирішувати задачу координації (узгодження взаємодії) підсистем.

На відміну від існуючого підходу нами показано, що для спрощення задачі управління ТК неперервного типу доцільно застосовувати розглянуті двоохвівні алгоритми координації, де глобальна координація – узгодження взаємодії між підсистемами, локальна координація – узгодження взаємодії в підсистемах.

Література

1. Шумидай, Д. А. Алгоритми координації підсистем технологічних комплексів з використанням еталонних моделей / Д. А. Шумидай, А. П. Ладанюк // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 6/3 (48). – С. 24.
2. Месарович, М. Общая теория систем и ее математические основы / М. Месарович. – М.: Прогресс, 1969. – С. 165-180.
3. Ладанюк, А. П. Основы системного анализа: навчальний посібник / А. П. Ладанюк. – Вінниця: Нова книга, 2004. – 176 с.
4. Афанасьев В.Н. Анализ временных рядов и прогнозирование / В.Н. Афанасьев, М.М. Юзбашев – М.: Финансы и статистика.
5. Рыбина Г.В. Автоматизированное построение баз знаний для интегрированных экспертных систем / Г.В. Рыбина // В кн.: Известия РАН. Теория и системы управления. 1998, №5, с. 152–166.
6. Душкин Р.В. Об одном подходе к автоматизированному извлечению, представлению и обработке знаний с НЕ-факторами / Р.В. Душкин, Г.В. Рыбина // В кн.: Известия РАН. Теория и системы управления. 1998, №5, с. 34–44.
7. Колесникова С.И. Выявление закономерностей во временных рядах при распознавании состояний сложных объектов управления. / С.И. Колесникова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, 2010, №5, с.66 – 71
8. Статистический контроль. Контрольні карти Шухарта (ISO 8258:1991, IDT): ДСТУ ISO 8258-2001. / М. Шарапов (пер. і наук.-техн.ред.). - К. : Держспоживстандарт України, 2003. - V, 32 с. – (Національний стандарт України).
9. Ладанюк, О.А. Автоматизированное управление взаимосвязанными подсистемами технологических комплексов пищевых производств: дисертаційна робота на здобуття наукового ступеню канд. техн. наук / О.А. Ладанюк. – К., 1996. – 176 с.

В статье рассматривается подход к постановке расширенной задачи координации в технологических комплексах непрерывного типа. В частности рассматривается сложный технологический комплекс сахарного завода. Описаны основные особенности решения поставленной задачи координации.

ключевые слова: принципы координации, подсистемы технологического комплекса, нечеткие знания, временные ряды, функция цели.

The paper considers an approach to setting the extended task of the coordination in technological complex of continuous type. In particular technological complex of sugar factory is considered. The main features of the solution of the coordination problem are described.

keywords: principles of coordination, subsystem of technological complex, fuzzy knowledge, time series, the function purpose.