

УДК 681.518.5:303.732.4

А. П. Ладанюк, д. т. н., проф;  
 Н. А. Заєць, асп.;  
 Л. О. Власенко;  
 Н. М. Луцька, к. т. н.

## КООРДИНАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДІЛЬНИЦЬ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ З УРАХУВАННЯМ ЗАДАЧ ПРОГНОЗУВАННЯ

*Розглянуто задачу уніфікації процедури координації для технологічних комплексів на прикладі технологічного комплексу цукрового заводу. Запропоновано метод ухвалення оперативних рішень з використанням нечіткої логіки. Метод направлений на узгодження розв'язків за рівнями в багаторівневій ієрархічній системі.*

Технологічні комплекси (ТК) харчових виробництв завжди складаються з ряду взаємозв'язаних підсистем. Ці підсистеми характеризуються рядом особливостей: характером процесів, тобто їх нестационарністю та нелінійністю, невизначеністю параметрів, наявністю зв'язків з суміжними підсистемами тощо. В зв'язку з впровадженням в сучасних системах підсистем підтримки прийняття рішень, виникає *задача* уніфікувати процедури координації для технологічних комплексів.

В загальному випадку задача координації складається з:

- узгодження матеріальних потоків між підсистемами, коли немає необхідності змінювати технологічні режими  $N^{(-1)}$  та  $N^{(+1)}$  підсистем, при управлінні  $N$  підсистемою;
- узгодження технологічних режимів суміжних підсистем, коли загальний показник функціонування суттєво залежить від цих режимів;
- змінювання матеріальних потоків та технологічних режимів підсистем для досягнення найвищих техніко-економічних показників функціонування ТК. Цей випадок найскладніший, а тому потребує додаткового обґрунтування.

ТК цукрового заводу відносяться до складних об'єктів, тому що мають ієрархічну структуру і є можливість проведення декомпозиції системи на окремі підсистеми, що пов'язані між собою складними структурними та функціональними відношеннями. Взнявши за цільову функцію  $F(\bar{x}_N)$ , де  $\bar{x}_N$

— координати стану об'єкта, показник «максимум прибутку», і провівши аналіз собівартості цукру, можна зробити висновок, що з усіх складових витрат найбільшу вагу мають витрати на стадії сокодобування, очищення та згущення дифузійного соку [1]. Очевидним є зведення задачі оптимального керування багатостадійним виробництвом до задачі оптимального керування окремими стадіями, з урахуванням взаємодії між ними, що потребує створення багаторівневої ієрархічної системи, коли кожна з цих стадій розбита на окремі підсистеми (рис. 1), де  $S_N$  — ТК цукрового заводу,  $S_{11} - S_{(N-1)1}$  — дифузійне відділення цукрового заводу,  $S_{12} - S_{(N-1)2}$  — ТК очистки,  $S_{13} - S_{(N-1)3}$  — випарна станція,

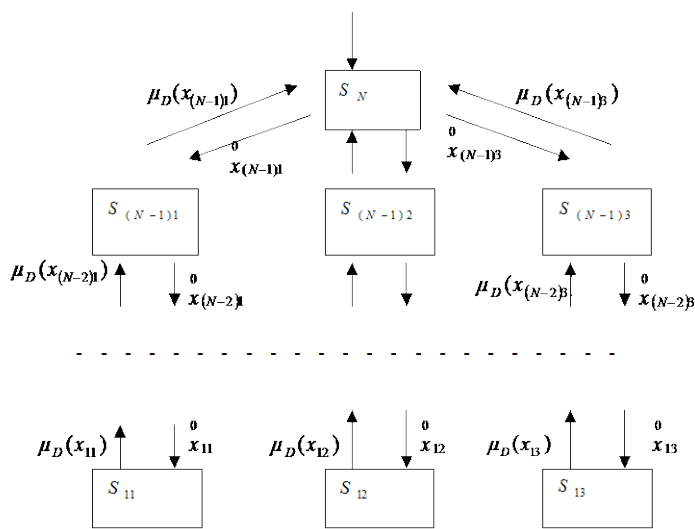


Рис. 1. Структурна схема багаторівневої ієрархічної системи

$\mu_D(\bar{x}_N)$  — функція належності схвалюваних рішень до підмножини допустимих, ефективних і скоординованих рішень.

При ухваленні оперативних рішень в складній ієрархічній системі (див. рис. 1) основною ціллю є знаходження на кожному рівні  $i = \overline{1, N}$  вектора розв'язків, що забезпечує максимум системного вектора цільових функцій  $F(x_1^0, \dots, x_N^0)$  при координаційному завданні  $x_{N+1}^0(t)$ , отриманому від  $(N+1)$ -го рівня управління. Процес прийняття рішень здійснюється дискретно в моменти часу  $t = \overline{1, T}$  і в загальному випадку крок дискретизації з управління зростає від нижніх рівнів до верхніх. Частина розв'язків (в основному на нижніх рівнях) носить характер управляючих дій, а велика частина лише координує роботу підсистем різних рівнів. Призначення підсистемам нижчих рівнів цільових функцій також є засобом координації, проте в даній задачі передбачається, що вони вже вибрані. Знайдений розв'язок  $\{x_i^0\}, i = \overline{1, N}$  повинен належати підмножині допустимих для системи режимів (технологічних, надійнісних, економічних і т. д.),  $C \subset X$  тобто бути згаданим з можливостями технології.

Спроба безпосереднього використання єдиного глобального критерію верхнього рівня  $F(\bar{x}_N)$  з подальшою його декомпозицією для підсистем всіх рівнів робить задачу оптимізації надто складною і ігнорує наявність власних цільових функцій у виділених підсистем. До того ж, глобальна цільова функція  $F(\bar{x}_N)$  не залежить явним чином від рішень, що приймаються підсистемами нижчих рівнів, що ускладнює вибір режимів роботи підсистем і шляхів його поліпшення. Тому будемо передбачати, що для кожної підсистеми задані свої цілі  $F(\bar{x}_{ij})$ , а системна цільова функція  $F(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_N)$  є векторною і залежить як від глобального критерію, так і від цільових функцій підсистем. При цьому як цільову функцію виділених стадій виробництва пропонується використовувати поняття економічної ефективності їх функціонування.

Основою типової задачі координації підсистем є дворівнева структура, але для конкретного виробництва та ТК завжди існує ряд нетривіальних підходів, які потребують оперативного розв'язання, особливо при розробці та впровадженні корпоративних систем управління. В наш час прийнято досліджувати питання оптимізації для дворівневої системи і приймати цю задачу як основний модуль для будь-якої системи  $N$ -рівня, причому для вирішення задачі на  $(i - 1)$ -му рівні вважається заданим результат оптимізації на рівні  $(i)$ . Або, якщо записати  $\bar{x}_N$  у вигляді  $\bar{x}_N = \{x_{ij}\}, i = \overline{1, N}; j = \overline{1, M}$ , де  $M = m_i$  число підсистем на  $i$ -му рівні управління (в нашому випадку  $M = 3$ ), то передбачається, що при знаходженні розв'язків  $x_{(i-1)j}, j = \overline{1, m_{i-1}}$ , всі оцінки  $\bar{x}_{ij}^0, j = \overline{1, m_i}$  вже прийняті, тому для оптимізації в багаторівневих системах в основному використовуються різні ітераційні методи. Загальні підходи до формування та розв'язку задачі координації підсистем цукрового заводу (ЦЗ) викладенні в [2].

Як характеристики схвалюваних рішень для окремих підсистем і для всієї системи в цілому, будемо використовувати функцію належності ухвалюваних рішень до підмножини допустимих, ефективних і скоординованих рішень  $\mu_D(\bar{x}_N)$ , причому ця функція не зводиться для чітких рішень до функції  $F(\bar{x}_N)$ , оскільки вона включає не тільки характеристику ефективності розв'язку, але і характеристику його допустимості (ступінь належності розв'язку  $\bar{x}_N$  до підмножини допустимих режимів  $C$ ) і зкоординованості з цілями і обмеженнями підсистем нижчих рівнів (ступінь належності розв'язку  $\bar{x}_N$  до підмножини скоординованих режимів  $K$ ). Функції належності визначаються на множині рішень  $X = \{x_{ij}\}$ . Ефективність розв'язку задається нечіткою ціллю  $G \subset X$  як нечітка підмножина з функцією належності  $\mu_G(x_{ij})$ , допустимість розв'язку — нечіткою підмножиною  $C \subset X$  з функцією належності  $\mu_C(x_{ij})$  і зкоординованість — нечіткою підмножиною  $K \subset X$  з функцією належності  $\mu_K(x_{ij})$ . Підсумковий вплив нечіткої цілі  $G$ , нечіткого обмеження

$C$  і нечіткої координаті  $K$  на вибір розв'язку  $x_{ij}$  може бути представлено перетином  $G \cap C \cap K$ .

Функція належності для перетину задається співвідношенням

$$\mu_{G \cap C \cap K}(x_{ij}) = \mu_G(x_{ij}) \wedge \mu_C(x_{ij}) \wedge \mu_K(x_{ij}) = \max \{ \mu_G(x_{ij}), \mu_C(x_{ij}), \mu_K(x_{ij}) \}; \quad (1)$$

$$x_{ij} \in X.$$

Тоді нечітку підмножину  $D = G \cap C \cap K$  будемо називати нечітким розв'язком підсистеми  $j$  рівня  $i$ , причому

$$\mu_D(x_{ij}) = \mu_{G \cap C \cap K}(x_{ij}). \quad (2)$$

Згідно (1) функція належності  $\mu_D(\bar{x}_N)$  характеризує міжрівневу координатію.

Розв'язки можуть бути більш складними і характеризуватися вектором параметрів  $\bar{x}_{ij}$ , наприклад, тиском  $P_{ij}$ , витратою  $q_{ij}$  і температурою  $T_{ij}$  пари, що гріє. Очевидно, що системний зкоординований розв'язок на рівні  $N$  визначається виразом вигляду

$$D(x_N) = D(x_{11}) \cdot \dots \cdot D(x_{1M}) \cdot D(x_{21}) \cdot \dots \cdot D(x_{2M}) \times \quad (3)$$

$$\times \dots \cdot D(x_{(N-1)1}) \cdot \dots \cdot D(x_{(N-1)M}) \cap C(x_N) \cap G(x_N)$$

Таким чином, даний метод направлений не на узгодження розв'язків, що приймаються для однієї і тієї ж системи в певні проміжки часу, а для узгодження розв'язків по рівнях в багаторівневій ієрархічній системі в певний момент  $t$ , причому для кожного, у тому числі і нижнього рівня (основного технологічного процесу), може бути вирішена і динамічна задача.

Процес координатії в системі здійснюється у зв'язку з певною метою або задачею так, щоб вся система досягала поставленої цілі. Конфлікт між підсистемами нижчих рівнів виникає через наявність у них власних індивідуальних цілей і через різні види системних обмежень і зв'язків. Дії координатора направлені на зменшення такого внутрішньосистемного конфлікту. Існує процес координатії, що відбувається до прийняття рішення елементами нижчих рівнів або після прийняття рішення (корекція). Запропонований метод координатії погоджує рішення в процесі прийняття рішень з оперативного управління системою. Елементи вищих та нижчих рівнів зв'язані між собою двома видами сигналів. Сигнал, що посилається вгору  $\mu(x_{(N-1)1})$ , несе елементу вищих рівнів інформацію про допустимість і ефективність режимів роботи, а сигнал  $x_{(N-1)1}^0$ , що йде зверху вниз, конкретизує завдання, що виконується на нижчому рівні. Елемент вищого рівня в зв'язку з пріоритетом дій повинен вибрати для елементів нижчого рівня стратегію поведінки (вибір способу координатії), зміни в структурі і параметрах елементів нижчого рівня (аспект самоорганізації) і координуючу дію при фіксованій структурі і параметрах (аспект управління). Інформація про елементи нижчого рівня, що необхідна елементу вищого рівня для ухвалення розв'язку, залежить від цілі розв'язуваної задачі, від моделей підсистем і зв'язків між ними.

Для підвищення ефективності керування ТК необхідно розв'язувати додаткові задачі, серед яких можна виділити адаптацію та прогнозування очікуваних результатів. Адаптація здійснюється на різних рівнях ієрархічної системи, різними методами. В підсистемах різного рівня доцільно використовувати адаптивні системи з еталонною моделлю, які враховують параметричні збурення, тобто зміни динамічних характеристик об'єкта в процесі тепло- та масообміну.

Прогнозування очікуваних техніко-економічних показників роботи підсистем та ТК в цілому базується на системному аналізі змінних технологічного режиму (координат стану) та оцінки функції ефективності з різним горизонтом прогнозування. Наприклад, для ТК ЦЗ необхідно контролювати і регулювати в середньому від 350 до 400 технологічних змінних, підтримання яких в заданих межах впливає на якість вихідного продукту, ефективність переробки цукрових буряків, на величину прибутку, на ефективне використання виробничих потужностей і оптимальність роботи заводу в цілому [1].

## Висновки

Для підсистем ТК, які розглядалися в статті, основною задачею координації є узгодження матеріальних потоків з обмеженнями на якісні показники напівпродуктів та продуктів. В той же час, особливого значення набуває додаткова задача – узгодження технологічних режимів, особливо на початку та в кінці сезону. Таким чином, на основі розробленої задачі, можна виконати алгоритмічне та програмне забезпечення, що дасть можливість використання задач координації в системах управління ТК різних харчових виробництв.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сапронов Р. А. Технология сахарного производства. — М.: Колос, 1998. — 495 с.
2. Ладанюк А. П. Основи системного аналізу: Навчальний посібник. — Вінниця: Нова книга, 2004. — 176 с.

*Ладанюк Анатолій Петрович* — завідувач кафедри, *Засць Наталія Анатоліївна* — аспірантка, *Власенко Лідія Олександрівна* — асистент, *Луцька Наталія Миколаївна* — асистент.

Кафедра автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій, Національний університет харчових технологій