

ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Анотація: У статті виконано аналіз задачі керування складним технологічним виробничим комплексом на прикладі керування текстильним виробництвом. Визначено проблему і загальні завдання оптимального керування, яке доставляє максимальну чутливість із швидкості зміни стану. Показано, що для багатомірної задачі оптимальне керування визначає розподіл ресурсу управління по компонентах вектора управління.

Ключові слова: Ключові слова: технологічний комплекс, оптимальне керування, зміна стану, багатомірна задача, функціонал цілі

Постановка проблеми

Впровадження автоматизованого управління підприємствами і технологічними комплексами (ТК), як єдиним об'єктом, відноситься до основних завдань поліпшення економічних показників виробництва [1,2]. Найважливішою функцією автоматизованої системи у цьому завданні є оперативна оптимізація діяльності всього виробничого комплексу.

Сучасний виробничий комплекс складається з великого числа окремих підсистем (цехів, дільниць), які пов'язані між собою матеріальними потоками сировини, допоміжними матеріалами тощо. При цьому існує проблема оптимізації функціонування комплексу в умовах, коли його підсистеми виконують свої окремі локальні завдання [2–4].

Концепція використання поточного контролю для аналізу попереднього управління обумовлена тим, що обробляється один і той же об'єкт - тканину. Для формування моделі технологічного процесу істотне значення мають структури моделей ТК [2,5] з технологічними коефіцієнтами і моделями, які є постійними або змінюються в часі, які поряд з невідомими змінними матеріальними потоками, які оптимізуються, входять також невідомі коефіцієнти випуску і витрат.

У складі автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП) сучасних систем регулювання присутня зазвичай кілька сотень контурів управління. При цьому при налагодженні та експлуатації таких систем управління виникає ряд причин, що зумовлюють погані статистичні та динамічні показники якості систем регулювання. До них можна віднести наступні:

- багатомірність реальних систем регулювання і, як наслідок, недостатня точність настроювання контурів управління, настройки яких ослаблені для забезпечення роботи при зміні режиму роботи об'єкта, наприклад, навантаження. Але навіть

якщо в експлуатації перебувають тільки одномірні системи, як правило, налаштування будуть ослаблені, що пояснюється залежністю характеристик об'єкта від режиму його роботи (навантаження, складу палива, сировини, матеріалів, використуваного обладнання і т.д.);

- недостатньо точна або неправильне налаштування в багатовимірній системі хоча б одного контуру управління призводить до неузгодженої роботи всіх взаємодіючих контурів. Визначення такого “поганого” контуру є складним завданням;
- налаштування систем управління, де слід враховувати взаємний вплив контурів регулювання за рахунок перехресних зв'язків в цих контурах, істотно залежать від характеристик інших контурів, у тому числі від параметрів настроювання регуляторів в цих контурах;
- забезпечення ліквідації передаварійних ситуацій, які виникають у системі управління, можливо найбільш простими прийомами, що полягають в ослабленні настройки регуляторів. При цьому при допустимому функціонуванні технологічного процесу буде знижуватися якість роботи системи.

Ціль та задачі дослідження

Підвищення ефективності управління технологічним комплексом на прикладі текстильного виробництва [1], де завдання управління технологічним комплексом зводиться до знаходження таких ділянок контролю на технологічних переходах, де керуючі зусилля дозволяють забезпечити управління технологічним процесом з найбільшою чутливістю.

Матеріали та методи дослідження

У такій постановці завдання управління комплексом слід враховувати, що:

- технологічний комплекс функціонує зі значними транспортними запізненнями;
- системи контролю якості необхідно розподіляти по ділянках контролю тканини – по технологічних переходах;
- для задач автоматизації контролю якості та управління ТП потрібно використовувати відомі засоби контролю і розробляти нові системи.

З основних збурюючих факторів, що діють на об'єкт, можна вказати наступні:

- якість сировини, що надходить на первинну переробку;
- значний вплив на протікання технологічних процесів умов зовнішнього середовища і кліматичні чинники взагалі;

- порушення технологічного процесу або його неточний (необґрунтовану) вибір;
- відхилення у технологічних процесах виробництва тканини, викликані розрегулюванням або втратою налаштувань обладнання;
- людський фактор.

Розглядаючи управління, які впливають на об'єкт, можна виділити наступні основні управління:

- вибір технологічних параметрів і номенклатури виробів (тканин);
- регламентні планові та позапланові роботи з обслуговування технологічного обладнання;
- управління матеріальними потоками з технологічного устаткування;
- контроль якості (розбраковування), як кінцева стадія технологічного процесу.

На сьогоднішній день більшість існуючих систем контролю якості носять, як правило, організаційний характер, із застосуванням візуального контролю якості працюють на підприємстві персоналом. При цьому інші критерії оцінки якості тканини досі широко не використовуються [5]. Таким чином, для своєчасного контролю і спостережності системи управління необхідно забезпечити:

- безперервну роботу технологічних ліній і переходів, які стабілізовані локальними системами управління (ЛСУ);
- своєчасний контроль якості виробництва на різних технологічних переходах, тому технологічні процеси виробництва тканин і використовується текстильне обладнання вносять різні дефекти (вади) тканини;
- контроль переміщення продукції по кожному конкретному технологічному переходу і процесу в цілому. Причому, якщо кожна одиниця продукції текстильного виробництва (рулон тканини) супроводжується інформацією про верстатах і персоналі, який виготовив тканину (зміна, час, тип обладнання тощо), то можна оперативнo здійснювати заходи щодо своєчасної ліквідації несправностей і налагодження технологічного обладнання.

Відносно рідка змінюваність артикулів тканини і добре апробовані, стабільні технологічні процеси можна віднести до позитивних сторін процесу управління ТП. Однак велика кількість технологічних переходів і варіативність показників продукції припускають часті регламентні роботи, що не дозволяє забезпечити

випуск якісної продукції в повному обсязі, шлюб буде присутній у виробі (тканинах).

Якщо в технологічному процесі матеріальний потік описується як однорідний стаціонарний потік, то при такому підході до опису з'являється ресурс управління в системі [1–3, 5–7], а розвиток аварійних ситуацій, таких, наприклад, як відхилення від вимог режимів технологічного процесу, може бути представлено у вигляді прогнозу.

Модель комплексу має підсистемну структуру [1,2], якщо: а) вона складається з моделей підсистем і зв'язків між ними, де число підсистем $n \geq 2$; б) якщо є критерій всього комплексу, то кожній з систем зіставлений деякий критерій оптимальності.

Питанням розрахунку параметрів моделі в області ідентифікації об'єктів управління присвячені численні дослідження [2, 3], а за вибором структури моделі література майже відсутня. Для побудови моделі комплексу без спеціального обґрунтування її структури рекомендований підхід полягає в завданні останньої у вигляді залежності вектора вихідних координат комплексу Y від вектора його вхідних координат X , $Y = F(X)$, де F – вектор-функція. Часто при моделюванні окремих технологічних процесів розрахунків параметрів функції F виявляє і робочу структуру моделі, використовувану далі для управління. Але якщо при управлінні комплексом модель повинна відображати підсистемну структуру об'єкта, подібний спосіб стає малоефективним, а в окремих постановках задачі управління, наприклад, при оптимізації виробничої програми комплексу, і зовсім непридатним.

Математична модель комплексу утворюється з моделей підсистем і зв'язків між підсистемами, а, отже, структура моделей підсистем визначає собою і структуру моделі комплексу [5–11]. Моделі зв'язків звичайно не порушують характеру моделі комплексу і якщо моделі підсистем лінійні або нелінійні опуклі, то і модель технологічного комплексу (ТК), як правило, лінійна або опукла.

Безліч різних за структурою і призначенням моделей комплексів може бути зведено до декількох видів [2].

На рис. 1 показана схема типовий підсистемами ТК для статичної оптимізації абсолютних значень матеріальних потоків.

Матеріальний потік X_ν з компонентами $X_\nu = (x_{\nu 1}, x_{\nu 2}, \dots, x_{\nu \varphi_\nu})$ перетвориться в потік $Y_\nu = (y_{\nu 1}, y_{\nu 2}, \dots, y_{\nu \varphi_\nu})$ з вектором управляючих впливів $U_\nu = (u_{\nu 1}, u_{\nu 2}, \dots, u_{\nu \varphi_\nu})$.

У лінійній моделі реакційної підсистеми

$$Y_\nu = A_\nu X_\nu + B_\nu U_\nu, \quad (1)$$

де A_ν , B_ν – матриці коефіцієнтів рівнянь. У такій схемі впливи в явному вигляді не виділені і в моделях оперативного планування враховуються безпосередньо в обмеженнях.

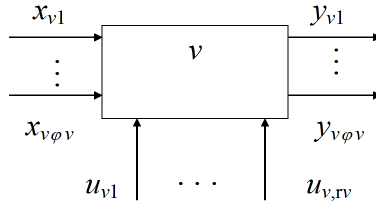


Рис. 1 – Схема підсистеми технологічного комплексу

На рис. 2 показана підсистема, де сировина X_ν поділяється на потоки $Y_{1\nu}, \dots, Y_{m\nu}$, при цьому кожен продукт є сумішшю з декількох компонентів.

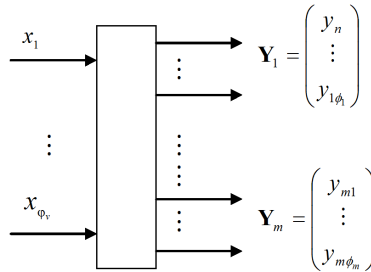


Рис. 2 – Схема підсистеми розподілу технологічного процесу

Якщо компонент продукту складається з кількох компонентів, то продукт Y_i пов'язаний з утворюючими його компонентами рівнянням (2):

$$A_i X = Y_i, \tag{2}$$

де $A_i = \|a_{i\phi\varphi}\|$; $\phi = 1, \dots, \phi_i$; $\varphi = 1, \dots, \varphi_i$ – матриця коефіцієнтів; $X = (x_1, \dots, x_{\varphi_v})$, $Y_i = (y_{i1}, \dots, y_{i\varphi_v})$ – вектори-стовпці.

У підсистемі змішання з окремих частин потоків $x_1, x_2, \dots, x_{\varphi_v}$ утворюються продукти Y_1, \dots, Y_m , компоненти яких є сумішами з вхідних компонентів. Вихід продукту $Y_1 = (y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1\varphi_1})$:

$$(a_{11}, \dots, a_{1,\varphi_v}) \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_{\varphi_v} \end{pmatrix} = (1, \dots, 1) \begin{pmatrix} y_{11} \\ \vdots \\ y_{1\phi_1} \end{pmatrix}.$$

Ввівши коефіцієнти $\lambda_{i\phi}$, що характеризують вміст $y_{i\phi}$ у потоці $\sum_{\phi} y_{i\phi}$, рівнянню виходу i -го продукту можна надати векторно-матричну форму (2).

$$\lambda_{i\phi} = \frac{y_{i\phi}}{\sum_{\phi} y_{i\phi}}; \lambda_{i\phi} \geq 0; \sum_{\phi} \lambda_{i\phi} = 1.$$

Тоді для Y_i маємо:

$$\begin{pmatrix} \lambda_{i1}a_{i1} & \lambda_{i1}a_{i2} & \cdots & \lambda_{i1}a_{i\varphi_v} \\ \lambda_{i2}a_{i1} & \lambda_{i2}a_{i2} & \cdots & \lambda_{i2}a_{i\varphi_v} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \lambda_{i\phi_i}a_{i1} & \lambda_{i\phi_i}a_{i2} & \cdots & \lambda_{i\phi_i}a_{i\varphi_v} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{\varphi_v} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{i1} \\ y_{i2} \\ \vdots \\ y_{i\phi_i} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

На рис. 3 показана підсистема масообміну між зустрічними потоками (абсорбція, екстракція) і змішання.

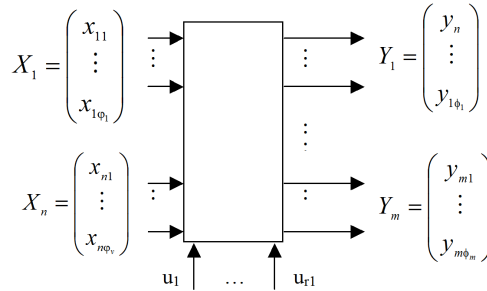


Рис. 3 – Схема підсистеми масообміну технологічного комплексу

Вихід першого компонента з першим продуктом Y_1 :

$$y_{11} = a_{11,11}x_{11} + a_{11,12}x_{12} + \dots + a_{11,1\varphi_1}x_{1\varphi_1} + \dots + a_{11,n1}x_{n1} + a_{11,n2}x_{n2} + \dots + a_{11,n\varphi_n}x_{n\varphi_n} + b_{11}u_1 + \dots + b_{1r_1}u_{r_1}.$$

Підсистема у векторно-матричній формі (4):

$$\begin{pmatrix} \mathbf{A}_{11} & \cdots & \mathbf{A}_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ \mathbf{A}_{m1} & \cdots & \mathbf{A}_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{X}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{X}_n \end{pmatrix} + \mathbf{B}\mathbf{U} = \begin{pmatrix} \mathbf{Y}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{Y}_m \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Для наведених підсистем загальна модель ТК визначається узагальненою системою рівнянь (5):

$$\mathbf{Y}_\nu = \mathbf{A}_\nu^0 + \mathbf{A}_\nu \mathbf{X}_\nu + \mathbf{B}_\nu \mathbf{U}_\nu, \nu = 1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

Критерій оптимальності

$$Q = f(\mathbf{X}_v, \mathbf{Y}_v, \mathbf{U}_v) = \max \tag{6}$$

при системі (5) забезпечує оптимізацію значень матеріальних потоків.

Якщо в складі комплексу присутні нелінійні підсистеми виду

$$\mathbf{Y}_v = f_v(\mathbf{X}_v, \mathbf{U}_v), \tag{7}$$

то модель теж буде нелінійною.

Забезпечення оптимальності критерію якості технологічного комплексу є складним завданням оперативного оптимального управління.

Цьому сприяють змінюються виробничі умови і змінюються допустимі режими управління (рис. 4) [1,5].

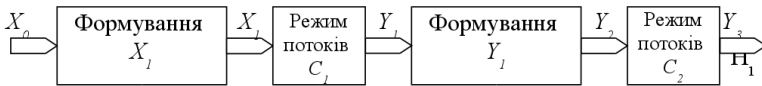


Рис. 4 – Структурна схема технологічного процесу як об'єкта управління

При цьому критерій нестационарний і залежить від зовнішніх збурень. Основні параметри формування критерію управління складаються з:

$$J_O = J_K \sigma_1 + J_N \sigma_2 + J_T \sigma_3 + J_\xi \sigma_4, \tag{8}$$

де J_K – кількість продукції, що випускається; J_N – витрати на випуск продукції; J_T – час технологічного циклу; J_ξ – якість продукції.

Природно, що обмеження будуються на тих же принципах:

$$\begin{aligned} (J_K - J^*) \bar{\sigma}_1 &= 0; \\ (J_N - J^*) \bar{\sigma}_2 &= 0; \\ (J_T - J^*) \bar{\sigma}_3 &= 0; \\ (J_\xi - J^*) \bar{\sigma}_4 &= 0 \end{aligned} \tag{9}$$

Отже, при $\sigma = \sigma(\xi)$ забезпечується зв'язок із завданням оптимізації верхнього рівня, тобто за умови невід'ємності завдання.

$$\begin{vmatrix} J_1^* = \bar{\sigma}_{1i} \bar{J}_{1j} \\ \dots\dots\dots \\ J_n^* = \bar{\sigma}_{ni} \bar{J}_{nj} \end{vmatrix} \tag{10}$$

Матриця σ визначається завданням виробництва при заданих обмеженнях \bar{J}_i^0 . Матриця $\bar{\sigma}$ має обмеження

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{1j} \left(\bar{J}_{1j} - \overset{\circ}{J}_{1i} \right) &\leq 0 \\ \bar{\sigma} \left(\bar{J} - \overset{\circ}{J} \right) &\leq 0 \end{aligned} \quad (11)$$

Власне, система оптимальна $\bar{\sigma}(\bar{J} - \overset{\circ}{J}) = 0$ при використанні всіх ресурсів при оптимальних обмеженнях, тобто в оптимальному сенсі в глобальному оптимумі обмеження оптимальні. Таким чином $\bar{J}^* \rightarrow opt, \bar{J}^{\circ} \rightarrow opt..$

Сформулюємо наступну задачу управління. Нехай задані матриці: $J_N \rightarrow \min$ – загальні витрати, а J_T – час технологічного циклу, J_K – кількість продукції, що випускається; - якість продукції. При цьому для системи управління час технологічного циклу і кількість продукції регламентується робочими планами підприємства. Критерій якості продукції визначається на виході технологічного процесу.

Для формалізації задачі виділимо співвідношення x і U , два природних параметра, і збурення, які задамо як $U^*, x^* \rightarrow \min J$, причому $T = \overset{*}{T}, N = \overset{*}{N}, \xi = \overset{*}{\xi}$ – постійні параметри. Ці умови є основним завданням стабілізації технологічного процесу.

Але узагальнений показник якості володіє наступною особливістю: при відомій якості вхідної сировини будь-які порушення $\Delta x = (x^* - x)$ і $\Delta U = (U^* - U)$ впливають на кінцеву якість продукції, що випускається:

$$\xi = \overset{*}{\xi} - \sum_{i=1}^n \eta(\Delta x, \Delta U). \quad (12)$$

Якщо критерій якості обмежений зверху, то, при оптимальному обмеженні $\xi - \overset{*}{\xi} = 0$, як наслідок, слід зазначити поступове зниження якості продукції по всіх технологічних переходах. З іншого боку, завдання управління має обмеження у вигляді:

$$J = \lambda_0 \overset{*}{J} + \lambda_T (T - T_0) + \lambda_N (N - N_0) + \lambda_{\xi} (\xi - \overset{*}{\xi}_0). \quad (13)$$

Якщо параметри \bar{T} і N в технологічному процесі витримуються, а параметри ξ нестабільні, тоді $\lambda_{\xi} = \frac{\partial \bar{J}}{\partial \xi}$ є чутливість функції цілі до зміни якості продукції.

У цій задачі керування найбільш доцільно виділити ділянки технологічного процесу з максимальною чутливістю $\lambda_{\xi} = \max$, що дозволить найбільш істотно впливати на функцію цілі.

В результаті проведених досліджень можна сформулювати такі загальні завдання оптимального управління технологічним комплексом:

1) формування динаміки моделі системи управління якістю з функціоналом мети, визначається як управління, що доставляє максимальну чутливість по швидкості зміни стану;

2) оптимальне управління для багатовимірної задачі визначає розподіл ресурсу управління по компонентах вектора управління.

Бібліографічний список

1. Рожков С.А. Оптимизация управлением сложными технологическими процессами [Текст] / С.А. Рожков // Вестник НТУ“ХПИ”. Сборник научных трудов. Тематический выпуск “Системный анализ, управление и информационные технологии”. – Харьков: НТУ ХПИ. – 2005. – № 54. – С. 118 – 123.
2. Плискин Л.Г. Оптимизация непрерывного производства [Текст] / Плискин Л.Г. – М.: Энергия, 1975. – 336 с.
3. Фомин Б. Ф. Моделирование производственных систем: в 11 кн. – Кн. 3 [Текст] / Б.Ф. Фомин, В.Б. Яковлев; под ред. В.Б. Яковлева. – К.: Вища шк., 1992. – 191 с.
4. Штейнберг Ш.Е. Проблемы создания и эксплуатации эффективных систем регулирования [Текст] / Ш.Е. Штейнберг, Л.П. Сережин, И.Е. Залуцкий, И.Г. Варламов // Промышленные АСУ и контроллеры, 2004. – № 7. – С. 1–7.
5. Рожков С.А. Информационные аспекты управления комплексом технологических процессов в текстильном производстве [Текст] / С.А. Рожков // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2007. – № 4(27). – С. 405 – 410.
6. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5 т.; 2–е изд., перераб. и доп. [Текст] / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. –М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.– Т.5: Методы современной теории автоматического управления. –784 с.
7. Робастные методы оценивания, идентификации и адаптивного управления [Текст] /В.Н. Азарсков, Л.Н. Блохин, Л.С. Житецкий, Н.Н. Куусуль:Монография. – К.: НАУ, 2004. –500 с.
8. Справочник по теории автоматического управления [Текст] / А.А. Красовский; под. ред. А.А. Красовского. –М.: Наука, гл.ред.физ.–математ. лит., 1987. – 712 с.
9. Kumar A. Inspection of surface defects using optimal FIR filters [Електроний ресурс] // ICASSP–2003. Vol.3. Is.2. P241 – 244. – Режим доступу до журн.: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp

10. Prinya T. Machine Vision for Quality Inspection of Cotton in the Textile Industry [Електронний ресурс] // Thammasat Int. J. Sc. Tech., Vol.6, № 1, January - April 2001. P60 – 63. – Режим доступу до журн.: http://www.tijsat.tu.ac.th/issues/2001/no1/2001_V6_No1_8.PDF
11. Chetverikov D., Henbury A. Finding defects in texture using regularity and local orientation II Pattern Recognition. Vol. 35. 2002. P. 2165–2180.

Отримано 12.10.2015 р.