

# Динамічне керування об'єктами періодичної дії

В.Г. Трегуб<sup>1</sup>, О.М. Клименко

*Анотація* – The main element of the dynamic subsystem ACS of periodic action apparatus is a programmer which realizes the program and therefore a function of transition from initial to final state of the object. Research is devoted to the development of programmers, which contain logic devices in its composition.

*Ключові слова* – programmer, automatic control, periodic action.

Автоматизовані системи керування об'єктами періодичної (ОПД) реалізують як алгоритми логічного, так і динамічного управління. Перші забезпечують перехід від стадії до стадії та від операції до операції, другі реалізують динамічне управління, в основному під час робочої стадії. Особливістю динамічного керування об'єктами періодичної дії (ОПД) порівняно з об'єктами неперервної дії (ОНД) є те, що перехідні процеси у ОПД, пов'язані з переходом з початкового стану, який характеризується вектором  $x_0$ , у кінцевий стан, якому відповідає вектор  $x_k$ , є корисними і забезпечують отримання готового продукту цих об'єктів. В ОНД ж перехідні процеси виникають під дією збурень і характеризують відхилення від номінального технологічного режиму. Якщо прийняти припущення, що

$$x_k = x_0 + x(\tau) \quad (1)$$

то  $x_\tau$  можна розглядати як вектор-функцію переходу, що задає траєкторію руху об'єкта від  $x_0$  до  $x_k$ .

Розробка системи динамічного керування (СДК) таким переходом залежить від багатьох факторів, але, насамперед, від того, чи задає функцію переходу технологічний регламент (ТР). Найбільш простий випадок розв'язання такої задачі виникає тоді, коли ТР жорстко задає функцію переходу, а значить і траєкторію руху об'єкту із початкового у кінцевий стан. У цьому випадку розробка програматора, основного компонента СДК, зводиться до переносу функції переходу на машинні носії. Якщо ТР не задає цю траєкторію, а тільки накладає обмеження на зміну керованих величин, то можливі два варіанти побудови СДК. Перший – це системи програмного керування (СПК), другий – системи керування за обмеженнями (СКО) [1]. Найбільш ефективним способом створення програми, що реалізує функцію переходу, є оптимізаційний, який потребує розв'язання задачі динамічної оптимізації.

У загальному вигляді задача динамічної оптимізації детермінованого процесу зводиться до знаходження такої функції  $u^*(\tau)$  або  $x^*(\tau)$  при  $\tau_k \geq \tau \geq \tau_0$ , яка забезпечує оптимум функціоналу

$$I = \int_{\tau_0}^{\tau_k} \varphi(x, u, z, a) dt \rightarrow \text{opt}_{u(\tau) \in \Omega} u^*(\tau) \text{ або } x^*(\tau) \quad (2)$$

причому обмеження  $\Omega$ , що враховує ресурс на управління, для таких задач має, як правило, три компонента:

$$\text{зв'язки} \quad f(dx/dx, x, u, z, b) = 0 \quad (3)$$

$$\text{нерівностей} \quad 0 \geq h(x, u, z) \quad (4)$$

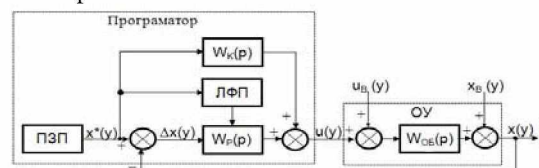
$$\text{краєві умови} \quad g[x(\tau_k), x(\tau_0)] = 0 \quad (5)$$

де  $I$  – критерій управління;  $x, x^*$  – змінні стану об'єкта та їх оптимальне значення;  $z$  – збурення;  $u, u^*$  – управління та його оптимальне значення;  $\varphi$  – цільова функція;  $f$  – математична модель (ММ) об'єкта;  $a, b$  – параметри відповідно цільової функції і ММ.

У разі, коли відсутність однієї із складових постановки задачі оптимізації (2-5) не дає змоги її розв'язати, використовують евристичний спосіб, який, найчастіше, реалізують з допомогою «фотографування» дій найкращих операторів. Повертаючись до розв'язання задачі динамічної оптимізації [2] зазначимо, що ОПД, як об'єкти оптимізації відносяться до об'єктів з неповною інформацією, тому для їх оптимізації використовують аналітичні алгоритми з прогнозуною моделлю та зворотнім зв'язком. Зазначимо, що застосування чисто пошукових алгоритмів тут неможливе через дефіцит часу. Неповнота інформації про АПД може мати дві причини: перша – це відсутність інформації про всі складові вектора збурень  $z$  та вектора параметрів моделі  $b$ ; друга – це відсутність інформації про всі складові вектор-функції обмежень типу нерівностей.

У першому випадку використовують системи з прогнозуною математичною моделлю (ПММ), а у другому – з прогнозуною фізичною моделлю (ПФМ) у разі, коли невідомими є обмеження, пов'язані з критичними значеннями рушійної сили, перевищення яких приводить до критичних ситуацій в апараті. Коли неповнота інформації про об'єкт пов'язана з обома причинами використовують фізико-математичну модель. Всі перераховані моделі можуть працювати як з постійними параметрами, так і з їх корекцією.

Один із варіантів структурної схеми багатоконтурної СПК з додатковим зв'язком за зміною завдання і логічним функціональним пристроєм (ЛФП) наведений на рис.1, де ПЗП – програмний задавальний пристрій; ОУ – об'єкт управління;  $x(y), x^*(y)$  – регульована (керована) величина та її задане значення;  $y$  – параметр завдання (для часових програм параметр завдання  $\tau$  – час);  $\Delta x(y) = x^*(y) - x(y)$  – похибка регулювання;  $u(y)$  – керовальна дія;  $u_B(y), x_B(y)$  – збурення відповідно на вході і виході об'єкта;  $W_P(p), W_K(p), W_{OB}(p)$  – передатні функції регулятора, компенсатора і об'єкта.



<sup>1</sup> Національний університет харчових технологій, вул. Володимирська, 68, Київ, 01601, УКРАЇНА



Рис.1. Структурна схема багатоконтурної СПК

Рівняння для похибки регулювання такої СПК має наступний вигляд:

$$\Delta x(y) = x^*(y) \left\{ \frac{1 - W_{OB}(p)W_K(p)}{1 + W_C(p)} \right\} - u_B(y) \left\{ \frac{W_{OB}(p)}{1 + W_C(p)} \right\} - x_B(y) \left\{ \frac{1}{1 + W_C(p)} \right\} \quad (6)$$

На відміну від стандартних комбінованих систем в цій системі компенсатор використовується не для компенсації збурення зміною завдання, а для підвищення астатизму системи і зменшення похибки регулювання за рахунок зменшення коефіцієнта при  $x^*(y)$ . Основна перевага цієї СПК перед одно контурною полягає у тому, що підвищення астатизму з допомогою зв'язку за зміною завдання не впливає на запас стійкості системи із-за того, що цей зв'язок не включений в замкнений контур системи. ЛФП призначений для зміни настроювання параметрів передатної функції регулятора  $W_P(p)$  в залежності від виду дільниці функції переходу  $x^*(y)$ . Логічними умовами такої зміни є досягнення координат, що визначають закінчення певної дільниці функції  $x^*(y)$ . Зазначимо також, що найкраще обирати в якості параметра завдання не час, а якусь змінну стану, що більш точно характеризує ступінь завершеності періодичного процесу. Порівнювальна оцінка наведеної системи і одноконтурної СПК без ЛФП при програмному керуванні стерилізаторами періодичної дії з різними видами функцій переходу забезпечила зменшення інтегрально-модульного критерію регулювання у 7-8 раз.

У разі, коли функція переходу не задана технологічним регламентом, а на рушійну силу процесу накладені критичні обмеження, для побудови СДК може бути застосована система керування з ПФМ. Враховуючи невеликий об'єм ПФМ, в цій моделі за рахунок інтенсифікації процесу створюють режим попереджувальної зміни рушійної сили процесу. Загальна структурна схема системи керування ТОУ, що має в своєму складі ПФМ і ПММ, наведена на рис.2, де БОПС – блок оцінювання змінних стану; БК – блок корекції параметрів моделі; БОУ – блок оптимального управління;  $u_a, u_{mk}$  – рушійна сила відповідно в апараті і на виході ПФМ;  $x_a, x_m$  – вихідна вимірювана величина відповідно в апараті і на виході ПФМ;  $u$  – управління;  $z$  – збурення.

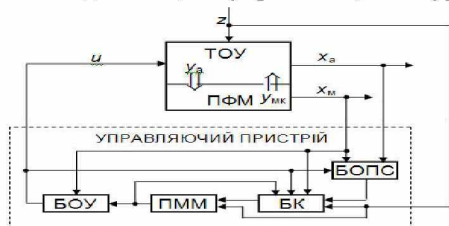


Рис.2. Загальна структурна схема системи керування ТОУ

У разі керування за обмеженнями структура управляючого пристрою значно спрощується і в ньому залишаються тільки БОПС, який виконує функцію порівняння сигналів  $x_a$  і  $x_m$  та БОУ у вигляді пристрою, що реалізує таку нелінійність релейного типу:

$$u = u_1 (\max dy_a / d\tau) \text{ при } |x_a - x_m| < \Delta x(y_{kp}),$$

$$u = u_2 (dy_a / d\tau < \max dy_a / d\tau) \quad (7)$$

при  $|x_a - x_m| \geq \Delta x(y_{kp})$

де  $|x_a - x_m|$  - модуль різниці сигналів вихідної змінної в апараті та на виході ПФМ,  $\Delta x(y_{kp})$  - різниця цих сигналів при досягненні в ПФМ рушійною силою критичної межі.

Результати моделювання системи керування за алгоритмом (7) для випадку, коли невизначена критична межа рушійної сили є «розмитотою» і лінійно змінюється під час функціонування ОПД наведені на рис.3, де  $\Delta y_{kp}$  – ширина критичної межі рушійної сили;  $u_{mk}, u_a$  – рушійна сила відповідно на виході ПФМ і в апараті,  $y_{out}$  – середнє значення похибки слідкування рушійною силою в апараті за її критичним значенням;  $\tau_y$  – постійна часу ПФМ;  $T_k$  – період періодичних змін  $u_{mk}$  і  $u_a$  під час керування.

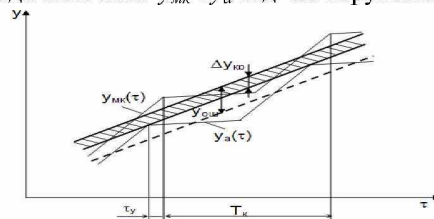


Рис.3. Результати моделювання

Як видно із рисунка, при реалізації управління за алгоритмом (7) інтенсивна зміна рушійної сили в моделі дозволяє через деякий час досягнути її критичних значень і далі вести процес при критичних значеннях рушійної сили в моделі і допустимих її значеннях в апараті. При цьому рушійна сила в апараті буде з деякою похибкою  $y_{out}$  слідкувати за критичним її значенням.

## ВИСНОВОК

Для динамічного керування ОПД застосовують програмне управління та управління за обмеженнями, причому для розробки програми функції переходу із початкового у кінцевий стан ОПД може бути використаний технологічний регламент, розв'язання задачі динамічної оптимізації або евристичний метод. Найбільш ефективною СПК є система з додатковим зв'язком за зміною завдання і логічним функціональним пристроєм. У разі, коли функція переходу не задана технологічним регламентом, а на рушійну силу процесу накладені критичні обмеження, для побудови СДК може бути використана система керування з ПФМ.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- [1] Трегуб В.Г. Автоматизация периодических процессов в пищевой промышленности / В.Г.Трегуб. – К.: Техніка, 1982. – 158 с.
- [2] Трегуб В.Г. Оптимальне керування періодичними процесами з міжфазними переходами / В.Г.Трегуб, Ю.О.Чорна // Восточно-европейский журнал передовых технологий – 2010 – №6/4(48) – С.7–9.