

УДК 36.81-5

В.Г. Трегуб, О.М. Клименко

КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТАМИ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ

The article analyzes and studies features of constructing systems of dynamic control (SDC) of periodic action apparatus (PAA). Programming control and control with constraints are employed for PAA dynamic control. Technological requirements as well as solving the problem of dynamic optimization or heuristic method can be used to develop the program of transition functions from the initial to PAA final state. The choice of the control system depends on technological requirements, specificity of functioning and completeness of information on these objects. MatLab software environment is used to implement and to evaluate the regulation quality of one of the block diagram variants of the multiplanimetric programming control system (PCS) with an additional connection for changing tasks and logical functional units as compared with single PCS. The most effective SDC is a system with the additional connection for changing tasks and logical functional unit. If the transition function is not determined by technological requirements and control system with prognostic physical model can be used as the driving force of the process imposed by critical constraints to construct SDC.

Вступ

Автоматизовані системи керування об'єктами періодичної дії (ОПД) реалізують алгоритми як логічного, так і динамічного керування [1, 2]. Перші забезпечують перехід від стадії до стадії та від операції до операції, другі реалізують динамічне керування, в основному під час робочої стадії. Особливістю динамічного керування ОПД порівняно з об'єктами неперервної дії (ОНД) є те, що перехідні процеси в ОПД, пов'язані з переходом із 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 [3]. В ОНД ж перехідні процеси виникають під дією збурень і характеризують відхилення від номінального технологічного режиму [4], тому при розв'язанні задачі динамічного керування ОПД необхідно насамперед врахувати особливості функціонування цих об'єктів.

Постановка задачі

Метою роботи є аналіз і дослідження систем динамічного керування об'єктами періодичної дії залежно від наявності технологічного регламенту, особливостей їх функціонування та повноти інформації про ці об'єкти.

Види динамічного керування

Якщо припустити, що вектор кінцевого стану $x_k = x_0 + x(\tau)$, то $x(\tau)$ можна розглядати як вектор-функцію переходу, що задає траєкторію руху об'єкта від x_0 до x_k . Розроблення

системи динамічного керування (СДК) таким переходом залежить від багатьох факторів, насамперед від того, чи задає функцію переходу технологічний регламент (ТР) (рис. 1). Найбільш простий випадок такої задачі виникає тоді, коли ТР жорстко задає функцію переходу, а отже, і траєкторію руху об'єкта з початкового у кінцевий стан. У цьому випадку розроблення програматора, основного компонента СДК, що реалізує функцію переходу, зводиться до переносу останньої на машинні носії.

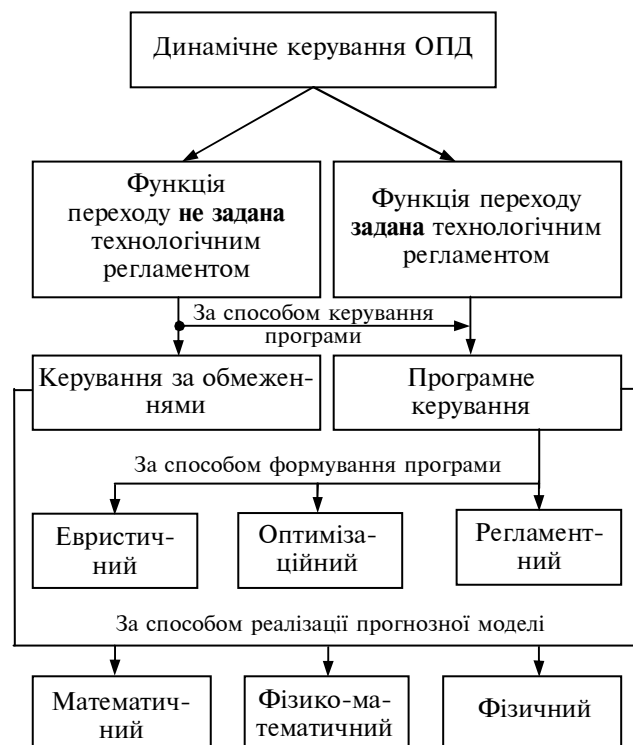


Рис. 1. Класифікація динамічного керування ОПД

Якщо ТР не задає траєкторію, а лише накладає обмеження на зміну керованих величин, то можливі два варіанти побудови СДК. Перший – це системи програмного керування (СПК), другий – системи керування за обмеженнями (СКО). Найбільш ефективним способом створення програми за відсутності вказівок у ТР 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 $\tau_{\text{кер}} \geq \tau \geq \tau_0$, яка забезпечує оптимум функціоналу

$$I = \int_{\tau_0}^{\tau_{\text{кер}}} \varphi(x, u, z, a) d\tau \rightarrow \text{opt} \Rightarrow u^*(\tau) \text{ або } x^*(\tau), \quad (1)$$

$$u(\tau) \in \Omega,$$

причому обмеження Ω , що враховує ресурс на керування, для таких задач має, як правило, три компоненти:

зв'язки

$$f(dx/dx, x, u, z, \mathbf{b}) = 0 \quad (2)$$

нерівності

$$h(x, u, z) \leq 0 \quad (3)$$

крайові умови

$$g[x(\tau_{\text{кер}}), x(\tau_0)] = 0, \quad (4)$$

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

Якщо відсутність однієї зі складових постановки задачі оптимізації (1)–(4) 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, зазначимо, що ОПД як об'єкти оптимізації належать до об'єктів з неповною інформацією, тому для їх оптимізації використовують аналітичні алгоритми з прогноною моделлю та зворотнім зв'язком. При цьому застосування суто пошукових алгоритмів тут неможливе через дефіцит часу. Неповнота інформації про ОПД може пояснюватись двома

причинами: перша – це відсутність інформації про всі складові вектора збурень \mathbf{z} та вектора параметрів моделі \mathbf{b} ; друга – відсутність інформації про всі складові вектор-функції обмежень типу нерівностей.

У першому випадку використовують системи з *прогноною математичною моделлю* (ПММ), а у другому – з *прогноною фізичною моделлю* (ПФМ), якщо невідомими є обмеження, пов'язані з критичними значеннями рушійної сили, перевищення яких призводить до критичних ситуацій в апараті [5]. Так, наприклад, при кристалізації цукру перевищення критичних значень пересичення міжкристального розчину в апараті призводить до інтенсифікації процесів вторинного кристалоутворення, що суттєво змінює гранулометричний склад цукру і робить його непридатним для подальшої обробки. При вирощуванні дріжджів перевищення критичних значень концентрації вуглеводів призводить до фактичного припинення процесів вирощування дріжджів та інтенсифікації процесів бродіння. При цьому критичні значення рушійної сили процесу часто залежать від багатьох невідомих факторів, що робить неможливим їх математичний опис. Коли неповнота інформації про об'єкт пов'язана з обома причинами, використовують *фізико-математичну модель*. Всі перелічені моделі можуть працювати як зі сталими параметрами, так і з їх корекцією.

Один із варіантів структурної схеми багатоконтурної СПК з додатковим зв'язком за змінною завдання і логічним функціональним пристроєм (ЛФП) наведений на рис. 2, де ПЗП – програмний задавальний пристрій; ОК – об'єкт керування; $x(y), x^*(y)$ – регульована (керована) величина та її задане значення; y – параметр завдання (для часових програм параметр завдання τ – час); $\Delta x(y) = x^*(y) - x(y)$ – похибка регулювання; $u(y)$ – керувальна дія; $u_{\text{вх}}(y), x_{\text{вих}}(y)$ – збурення відповідно на вході і виході об'єкта; $W_{\text{Р}}(p), W_{\text{К}}(p), W_{\text{Об}}(p)$, – передавальні функції регулятора, компенсатора і об'єкта.

Рівняння для похибки регулювання такої СПК має вигляд

$$\begin{aligned} \Delta x(y) = & x^*(y) \{ [1 - W_{\text{Об}}(p)W_{\text{К}}(p)] / [1 + W_{\text{Р}}(p)] \} - \\ & - u_{\text{вх}}(y) \{ W_{\text{Об}}(p) / [1 + W_{\text{Р}}(p)] \} - \\ & - x_{\text{вих}}(y) \{ 1 / [1 + W_{\text{Р}}(p)] \}. \end{aligned}$$

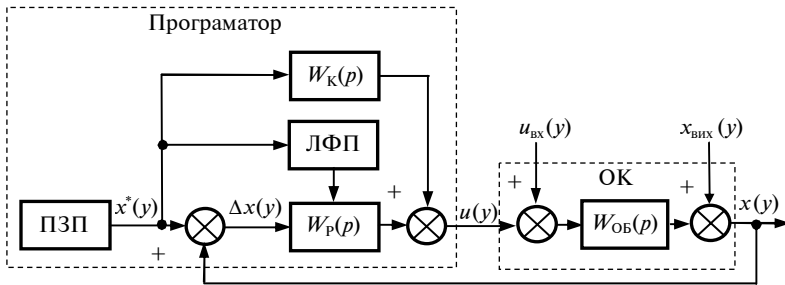


Рис. 2. Структурна схема багатоконтурної СПК з додатковим зв'язком за зміною завдання і логічним функціональним пристроєм (ЛФП)

На відміну від стандартних комбінованих систем, у цій системі компенсатор використовується не для компенсації збурення зміною завдання, а для підвищення астатизму системи і зменшення похибки регулювання за рахунок зменшення коефіцієнта при $x^*(y)$. ЛФП призначений для зміни настроювання параметрів передавальної функції регулятора $W_P(p)$, залежно від виду ділянки функції переходу $x^*(y)$. Логічними умовами такої зміни є досягнення

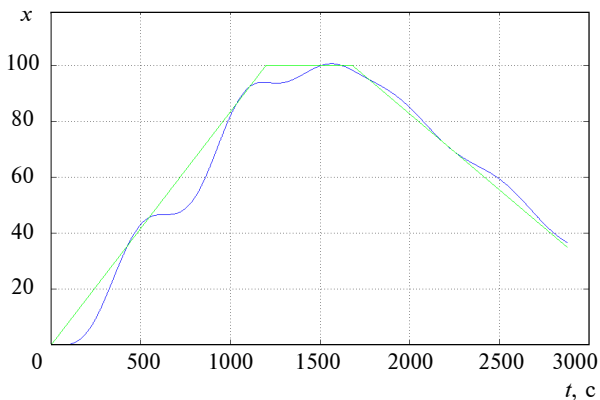


Рис. 3. Реалізація програми 20–8–20 (хв) одноконтурною САР без ЛП

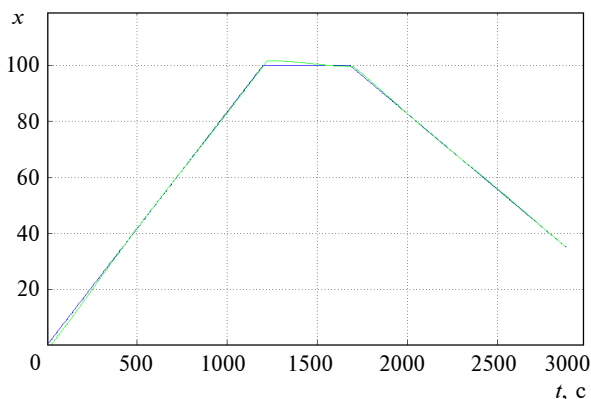


Рис. 4. Реалізація програми 20–8–20 (хв) комбінованою САР із ЛП

координат, що визначають закінчення певної ділянки функції $x^*(y)$. Зазначимо також, що найкраще вибирати як параметр завдання не час, а якусь змінну стану, що більш точно характеризує ступінь завершеності періодичного процесу.

Реалізація процесу у MatLab [6] з одноконтурною САР без логічних пристроїв наведена на рис. 3, а з комбінованою САР із логічними пристроями – на рис. 4.

Порівняльна оцінка наведеної системи й одноконтурної СПК без ЛФП при програмному керуванні [7] стерилізаторами періодичної дії з різними видами функцій переходу показала, що має місце зменшення інтегрально-модульного критерію регулювання у 7–8 разів.

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, причому як останню використовують пристрій, розміщений у середині чи поза апаратом, у який неперервно надходить невелика частина продукту реакційної зони. Враховуючи невеликий об'єм ПФМ, у цій моделі за рахунок інтенсифікації процесу створюють режим попереджувальної зміни рушійної сили процесу. Загальна структурна схема системи керування ТОК, що має в своєму складі ПФМ і ПММ, наведена на рис. 5, де БОЗС – блок оцінювання змінних стану; БК – блок корекції параметрів моделі; БОК – блок оптимального керування; $u_a, u_{мк}$ – рушійна сила відповідно в апараті і на виході ПФМ; x_a, x_m – вихідна вимірювана величина відповідно в апараті і на виході ПФМ; u – керування; z – збурення.

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

$$u = u_1(\max dy_a/d\tau) \text{ при } |x_a - x_m| \geq \Delta x(y_{кр}), \quad (5)$$

$$u = u_2(dy_a/d\tau \ll \max dy_a/d\tau)$$

$$\text{при } |x_a - x_m| \geq \Delta x(y_{кр}),$$

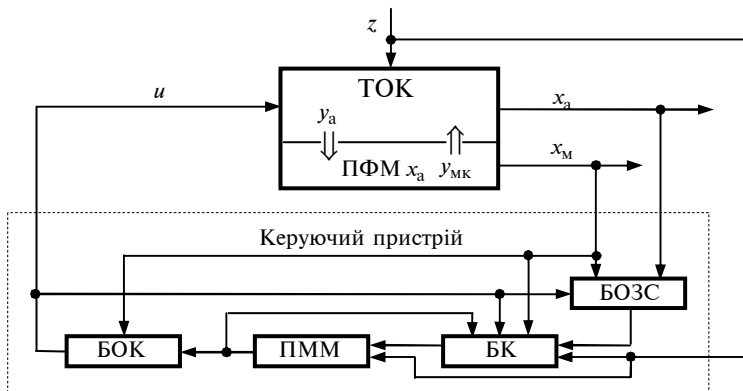


Рис. 5. Загальна структурна схема системи керування ТОК

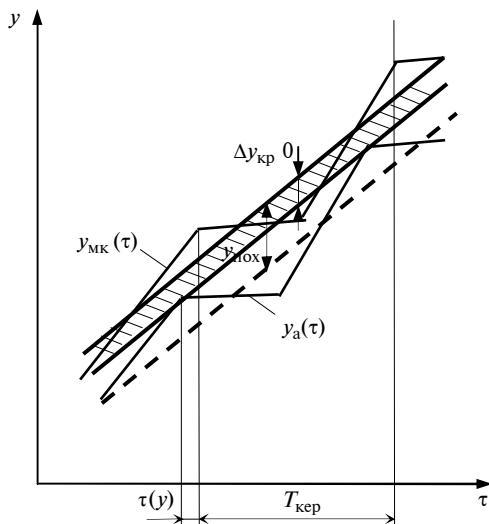


Рис. 6. Результати моделювання системи керування

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

Результати моделювання системи керування за алгоритмом (5) для випадку, коли невідома критична межа рушійної сили є “розмитотою” і лінійно змінюється під час функціонування ОПД, наведені на рис. 6, де $\Delta y_{кр}$ – ширина критичної межі рушійної сили; $y_{мк}$, y_a – рушійна сила відповідно на виході ПФМ

і в апараті, $y_{пох}$ – середнє значення похибки слідкування рушійною силою в апараті за її критичним значенням; τ_y – стала часу ПФМ; $T_{кер}$ – період періодичних змін $y_{мк}$ і y_a під час керування.

Як видно з рис. 6, при реалізації керування за алгоритмом (5) інтенсивна зміна рушійної сили в моделі дає можливість через деякий час досягти 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 $y_{пох}$ слідкувати за критичним її значенням.

Висновки

Застосування системи з додатковим зв'язком за зміною завдання і логічним функціональним пристроєм порівняно з одноконтурною САР дало зменшення інтегрально-квадратичного критерію з 10821,68 до 1230 од.Х.с, а отже, ця система є найбільш ефективною.

Основна перевага цієї СПК над одноконтурною полягає в тому, що підвищення астатизму з допомогою зв'язку за зміною завдання не впливає на запас стійкості системи, оскільки цей зв'язок не включений у замкнений контур системи. Введення логічних пристроїв дало змогу застосовувати ПІ-регулятор з оптимальними настройками для кожної з ділянок.

Систему керування з ПФМ доцільно використовувати, коли функція переходу не задана технологічним регламентом та на рушійну силу процесу накладені критичні обмеження.

У перспективі планується побудова системи керування апаратами періодичної дії з використанням підсистем логічного та динамічного керування.

1. *Какичев Л.Г., Солодовников В.В., Федотов А.И.* Современное состояние теории и метод математического описания логико-динамических систем // Автомат. упр. и вычисл. техника. – 1978. – Вып. 12. – С. 127–146.
2. *Жук К.Д., Тимченко А.А., Доленко Т.И.* Исследование структур и моделирование логико-динамических систем. – К.: Наук. думка, 1975. – 199 с.
3. *Бесекерский В.А., Попов Е.П.* Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1972. – 768 с.

4. *Голінко І.М., Кубрак А.І., Трегуб В.Г.* Синтез цифрової системи керування за інтегральними показниками якості // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2011. – № 6. – С. 54–59.
5. *Трегуб В.Г.* Автоматизоване керування апаратами періодичної дії на харчових підприємствах // Наукові праці НУХТ. – 2005. – № 16. – С. 143–145.
6. *Потемкин В.Г.* Инструментальные средства MatLab5. – М.: Диалог-Мифи, 2000. – 336 с.
7. *Страшун А.З., Чернухин В.Ш.* Программные регуляторы технологических процессов. – Л.: Энергия, 1973. – 144 с.

Рекомендована Радою
факультету прикладної математики
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції
3 вересня 2012 року