

Д.В. ЛЕВЧІЙ*Київський національний університет імені Тараса Шевченка***Н.В. МЕДВІДЬ***Національний університет харчових технологій*

ВИКОРИСТАННЯ ПІД-АЛГОРИТМІВ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЧИМИ ПРОЦЕСАМИ У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ¹

У роботі розглянуті можливості використання ПІД-алгоритмів (пропорційно-інтегрально-диференційних) для автоматизації виробничих процесів на підприємствах харчової промисловості. Наведені приклади застосування та переваги використання даних алгоритмів.

Ключові слова: харчова промисловість, автоматизація керування, алгоритми оптимізації, PID (ПІД) алгоритм.

Харчова промисловість України займає одне з чільних місць за показником реалізованої продукції та є потужним джерелом формування бюджету. Особливістю галузі є порівняно висока конкуренція, тому підвищення ефективності виробництва та зниження рівня витрат — важливі складові підвищення конкурентоспроможності підприємств харчової промисловості. Автоматизація керування виробничими процесами та інженерними системами на підприємствах дозволить реалізувати обидві зазначені переваги, підвищить точність дотримання заданих параметрів у виробничих приміщеннях та дозволить більш раціонально використовувати наявні паливно-енергетичні ресурси.

Сучасні системи керування процесами будуються на базі мікропроцесорних пристроїв, які працюють у відповідності з закладеним у них програмним забезпеченням. Найбільш важливим функціональним елементом систем автоматичного управління є цифрові регулятори, оскільки для системних процесів часто вимагається, щоб контрольовані параметри були здатні швидко реагувати на зовнішні впливи та підтримувати інші системні константи (наприклад, тиск, температуру тощо). Засобом для вирішення цієї задачі є регулятор, який порівнює показники системи та задане значення і формує завдання для корекції помилки. До числа найбільш розповсюджених алгоритмів для регуляторів відноситься ПІД-алгоритм, у якому містяться три складових підвиди регуляторів для усунення помилок: пропорційний (P-регулятор); інтегральний (I-регулятор); диференційний (D-регулятор). ПІД-регулятор відноситься до числа лінійних, параметрично оптимізуючих регуляторів.

Розглянемо приклад практичного застосування ПІД-алгоритму для керування системою повітряного опалення у виробничому цеху підприємства. Експеримент проводився на реальному об'єкті за допомогою програмного забезпечення TAC Vista, TAC Menta. Для потреб виробництва у приміщенні цеху необхідно підтримувати певну задану температуру, для цього ми маємо приточну установку (каналний кондиціонер), що укомплектована теплообмінниками для підігріву або охолодження повітря. Потужність теплообмінників регулюється за допомогою клапану, що змінює проток тепло- або холодоносія. Експериментальна частина роботи присвячена саме оптимізації алгоритму регулювання клапана приточної установки. Очевидно, що точне регулювання температури у приміщенні цеху зменшує витрати на енергоресурси

©Д.В. Левчій, Н.В. Медвідь, 2011

(не допускає перегріву чи переохолодження) та безпосередньо впливає на якість продукції, якщо для її виробництва чи зберігання необхідне дотримання певного температурного режиму.

Було застосовано каскадний ПІД-регулятор, порядок визначення вхідних параметрів якого наведено нижче. Каскадне регулювання здійснюється за допомогою декількох (у даному випадку двох) послідовних регуляторів, коли на вхід (уставки) наступного подається вихід попереднього регулятора. У нашому випадку:

Регулятор 1. На вхід подається реальна та бажана температури у приміщенні; на виході після ряду математичних обчислень, маємо бажану температуру на подачі кондиціонера.

Регулятор 2. Бажана та реальна температура подачі йдуть на вхід другого регулятора, на виході отримуємо необхідний рівень відкриття клапану нагріву/охолодження.

Усі керування можна умовно поділити на 3 типи, а саме:

- 1) Аперіодичні (не допускають перерегулювання), рис. 1А;
- 2) З визначеним перерегулюванням (за мінімальний час компенсують збурення, але допускають вказане перерегулювання). Як приклад наводиться керування з 20 %-вим перерегулюванням, рис 1В;

Збурення — зміна уставки або раптова зміна стану системи (зміна користувачем бажаної температури у приміщенні на пульті кондиціонера або зміна температури у цеху внаслідок відкриття дверей, початку виробничого процесу тощо).

Перерегулювання можна визначити як зміну стану системи після досягнення бажаного стану, що відбувається за рахунок інерційності системи або повільної реакції керуючого алгоритму. Наприклад, 20 %-ве перерегулювання означає, що після збурення на величину X , максимальне перерегулювання складатиме — $0,2 X$. Стосовно системи повітряного опалення це означатиме, що, наприклад, при підвищенні користувачем бажаної температури у приміщенні на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, допустиме перерегулювання становитиме $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- 1) Керування, що мінімізують функціонал (інтеграл) якості $\left(\int_0^{\infty} e^2(t) dt \rightarrow \min \right)$, рис. 1С;

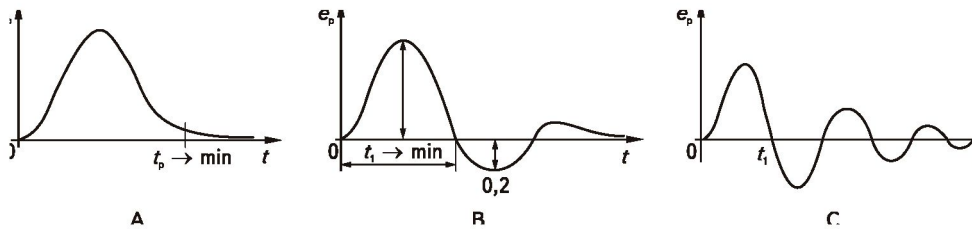


Рис. 1. Типи керування

Для кожного з зазначених типів керування можна досить точно підібрати параметри алгоритму управління. Експериментальним шляхом були отримані такі результати:

Для 1-го типу керування (аперіодичного):

$$G = \frac{0,95}{K_{по} \frac{\tau}{T}}, \quad T_i = 2,4\tau, \quad T_d = 0,4\tau.$$

Для 2-го типу керування (з 20%-вим перерегулюванням):

$$G = \frac{1,2}{K_{по} \frac{\tau}{T}}, \quad T_i = 2,0\tau, \quad T_d = 0,4\tau.$$

Для 3-го типу керування (що мінімізує інтеграл якості):

$$G = \frac{1,4}{K_{\text{по}} \tau}, \quad T_i = 1,3\tau, \quad T_d = 0,5\tau.$$

Умовні позначення: G — пропорційна ланка; T_i — час інтегрування; T_d — час диференціювання; (G , T_i , T_d — шукані величини, параметри алгоритму керування); T — константа часу (параметр алгоритму, що визначається фізичними властивостями керуючих пристроїв); $K_{\text{по}}$ — коефіцієнт підсилення об'єкту (величина, що дорівнює відношенню приросту вихідного сигналу до приросту вхідного в околі робочої точки); τ — запізнення (величина, що є сумою $\tau_s + \tau_d$, де τ_s — «чисте запізнення», а τ_d — динамічне запізнення). Чисте запізнення — це проміжок часу між тим моментом, коли система прийняла певне рішення (виробила керуючий сигнал), і тим моментом, коли дія цього керуючого сигналу почала впливати на систему. Динамічне запізнення — це час, що відповідає величині відрізка між початком зміни стану системи до точки перетину дотичної до кривої розгону з віссю абсцис.

Для проведення експерименту візьмемо модель без збурень. На вхід моделі подається сигнал керування 0 — 100 %, а на виході маємо температуру у приміщенні. Модель була доповнена ззовні ПІД-регулятором, що вироблятиме сигнал керування, та інтегратором, що буде обраховувати значення інтегралу якості керування. Для експерименту виберемо таку послідовність: спочатку система перебуває у стабільному стані, потім бажаний стан системи змінюється і ми спостерігаємо, яким чином і за який час система повернеться у заданий стан. Інтегратор накопичує помилку керування, тобто його значення обернено пропорційне якості керування.

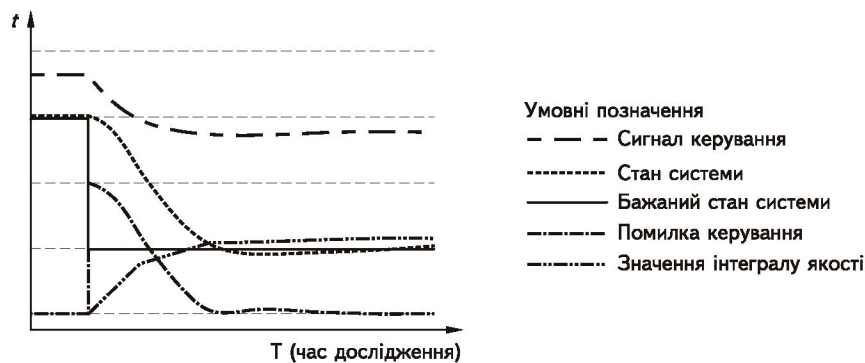


Рис. 2. Навмання підібрані параметри. Початковий стан

Як початкові параметри PID контролеру вибираємо $G = 1$ і $T_i = 60$ (1 хвилина), $T_d = 0$. Інтеграл якості виходить рівним 2654, а тип регулювання — з перерегулюванням.

До речі, при використанні будь-якого примітивного способу регулювання, говорити про функціонал якості можна лише з деякими обмеженнями, оскільки даний функціонал не буде збігатися, тобто буде прямувати до нескінченності.

Далі спробуємо настроїти PID-регулятор, вибравши для нього параметри за допомогою алгоритму, тобто визначимо для нашої моделі час запізнення і коефіцієнт підсилення:

1) Визначаємо час запізнення:

На даному графіку (див. рис. 3) сплеск лінії помилки керування відповідає початку зменшення швидкості спадання стану системи. Алгоритм запам'ятовує кут нахилу кривої і різницю між поточним і початковим значеннями в точці її перелому, ділить цю різницю на зміну за одну секунду і отримує час, необхідний для повернення системи у початкове значення з максимальною інтенсивністю, а потім віднімає цей час від часу, що пройшов від моменту зміни бажаного стану системи, до моменту уповільнення швидкості спадання стану системи. Отримуємо запізнення системи. Для даного випадку час запізнення становить 20,3 програмні цикли.

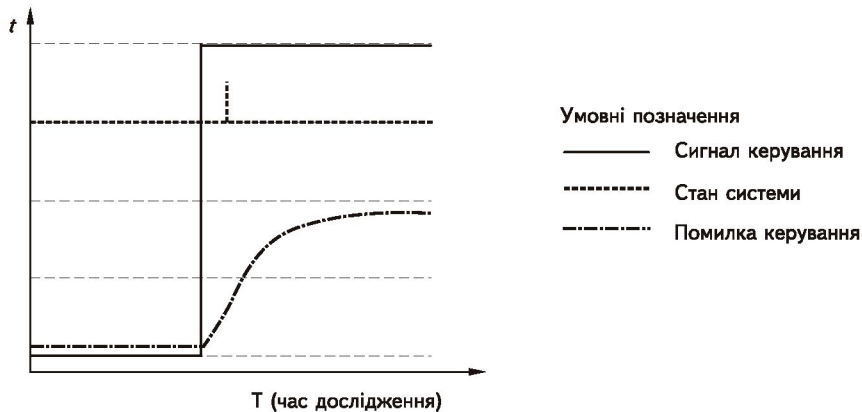


Рис. 3. Визначення часу запізнення

2) Визначимо коефіцієнт підсилення об'єкту, для цього змінимо керуючий сигнал на 5 % і подивимось на скільки зміниться стан системи. Стан системи змінився на 0,34 одиниці. Відповідно, коефіцієнт підсилення складатиме:

$$K = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{0,34}{5} = 0,068$$

Отже маємо такі результати:

$$\tau = 20,3, K_{\text{по}} = 0,068, T = 1$$

Підставляючи ці параметри у формули для 1-го (аперіодичного) типу керування одержуємо:

$$G = \frac{0,95}{K_{\text{по}} \frac{\tau}{T}} = \frac{0,95}{0,068 \frac{20,3}{1}} = 0,69,$$

$$T_i = 2,4\tau = 2,4 * 20,3 = 48,7,$$

$$T_d = 0,4\tau = 0,4 * 20,3 = 8,1.$$

Функціонал якості рівний 2980 і перерегулювання на рівні 2 %, що є у межах допустимої похибки (нагадаємо, що для аперіодичного типу керування перерегулювання повинно бути рівним нулю).

Розглянемо другий тип регулювання — з 20 %-вим перерегулюванням. Для цього типу регулювання параметри PID-регулятора визначаються згідно наступних формул:

$$G = \frac{1,2}{K_{\text{по}} \frac{\tau}{T}} = \frac{1,2}{0,068 \frac{20,3}{1}} = 0,87,$$

$$T_i = 2,0\tau = 2,0 * 20,3 = 40,6,$$

$$T_d = 0,4\tau = 0,4 * 20,3 = 8,1.$$

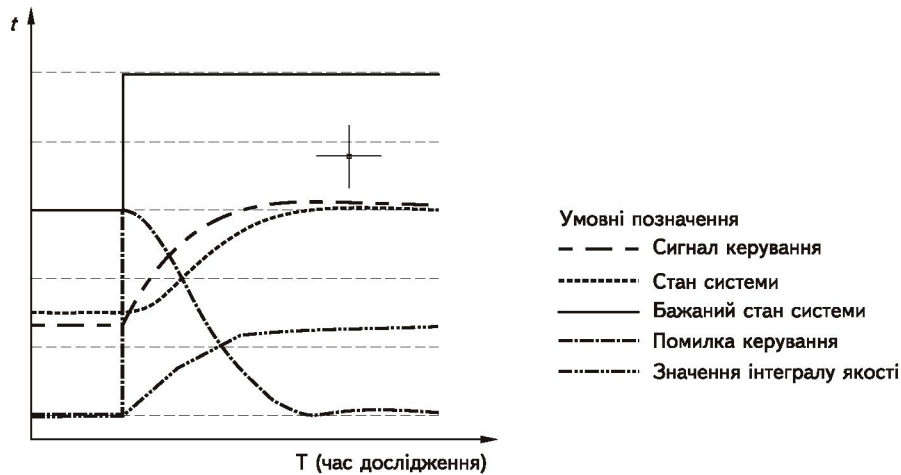


Рис. 4. Аперіодичний тип керування

На основі розрахунків одержуємо перерегулювання на рівні близько 14 %, функціонал якості рівний 2367.

Для останнього типу регулювання, що має мінімізувати функціонал якості керування, визначаємо параметри згідно наступних формул:

$$G = \frac{1,4}{K_{\text{по}} \frac{\tau}{T}} = \frac{1,4}{0,068 \frac{20,3}{1}} = 1,01,$$

$$T_i = 1,3\tau = 1,3 * 20,3 = 26,4,$$

$$T_d = 0,5\tau = 0,5 * 20,3 = 10,2.$$

Перерегулювання більше 30 %, функціонал якості рівний 1995.

Зважаючи на виявлену певну похибку, було проведено підрахунок вручну, який виявив похибку в розрахунках у 1 програмний цикл. Розмір даної похибки в реальному житті не мав би ніякого значення, але зважаючи на те, що для тестування була обрана модель, в якій зменшення швидкості зміни стану системи відбувалося вже через близько 60 програмних циклів, то дана похибка могла бути найважливішою причиною кількох відсоткової різниці між отриманими і очікуваними результатами.

Спробуємо підрахувати нові параметри, з урахуванням уточненого значення часу запізнення об'єкту.

1) Для аперіодичного типу регулювання функціонал якості рівний 2811, проти 2980, але перерегулювання 3 % проти 2 %;

2) Для регулювання з 20 %-вим перерегулюванням функціонал якості рівний 2265, проти 2367, перерегулювання 13 % проти 14 %.

3) Для регулювання, що мінімізує функціонал якості отримуємо функціонал якості рівний 1978, проти 1995. Перерегулювання у даному випадку становить майже 35 %.

Висновки. При використанні ПІД-алгоритму для регулювання різних процесів у промисловості вкрай важливо правильно підібрати параметри функціонування алгоритму. Можливість визначити оптимальні параметри дає аналіз керованого об'єкту та побудованої на його основі математичної моделі. На основі даних про керовану систему, її реакцію на управління (швидкість зміни стану, наявність збурень, обмеження щодо зміни стану тощо) розраховуються вхідні параметри функціонування ПІД-алгоритму. Використання правильно розрахованих

параметрів алгоритму робить його функціонування значно ефективнішим, це забезпечує більш ефективне функціонування інженерних систем підприємства, що, у свою чергу, дозволяє заощаджувати енергоресурси, підвищувати продуктивність виробництва, комфорт працівників.

На основі розглянутого прикладу (повітряне опалення/охолодження окремого виробничого цеху підприємства) можна переконатися, що обраховані параметри завжди забезпечують краще функціонування алгоритму, ніж параметри, підібрані без використання математичних методів. Найкращий функціонал якості керування, рівний 1978, було отримано для третього типу регулювання, що мінімізує функціонал якості. Розрахований показник на 33 % кращий, ніж у випадку з навмання підібраними параметрами ПІД-регулятора, що доводить необхідність і корисність математичних розрахунків зроблених у даній роботі.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Леончик Б.И.* Научные основы энергосбережения: учебное пособие / Б.И. Леончик, О.Л. Данилов. — М.: МГУПП, 2000. — 398 с.
2. *Соколов В.А.* Основы автоматизации технологических процессов пищевых производств / Соколов В.А. — М., 1983. — 403 с.
3. *Соснин О.М.* Основы автоматизации технологических процессов и производств / Соснин О.М. — М.: Академия, 2007. — 240 с.
4. *Шиммарев В.Ю.* Автоматизация технологических процессов / Шиммарев В.Ю. — М.: Академия, 2005. — 352 с.

В работе рассмотрены возможности использования PID-алгоритмов (пропорционально-интегрально-дифференциальных) для автоматизации производственных процессов на предприятиях пищевой промышленности. Приведены примеры использования и преимущества данных алгоритмов.

Ключевые слова: пищевая промышленность, автоматизация управления, алгоритмы оптимизации, PID (ПІД) алгоритм.

D.V. Levchiy, N.V. Medvid

Usage of pid-algorithms to control production processes in food industry

The article discusses the possibility of using PID-algorithms (proportional-integral-differential) for the automatization of production processes in the food industry. When using the PID algorithm is important to choose the right parameters of algorithm operation. This makes functioning of the systems more efficient, saves energy, increase productivity, comfort of employees and others. The work gives an example of practical application of PID-algorithm to control the air heating and cooling system in the manufacturing enterprise. The authors considered the different types of management options, selected PID-algorithm parameters and calculated functional quality for each of them. Based on the example it was proved that calculated parameters always provide a better functioning of the algorithm than the other ones, selected without the use of mathematical methods.

Key words: food processing, automation control, optimization algorithms, PID-algorithm.

Одержано редакцією 21.12.2011 р.