

УДК 681.5.015

М.В. АНАНЬЕВ, О.Б. ЦЕЛИЩЕВ, М.Г. ЛОРИЯ, П.Й. ЄЛІСЕЄВ

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ТОЧОК ГЛОБАЛЬНИХ ЕКСТРЕМУМІВ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля,
м. Сєверодонецьк

Розроблено алгоритм ідентифікації моделі об'єкта керування ланкою другого порядку з використанням характерних точок на кривій розгону еквівалентного об'єкта керування. Досліджено залежності похибки ідентифікації від кількості обраних точок на кривій розгону. Запропонований алгоритм дозволить надалі полегшити процес аналізу і оптимізації динамічних характеристик автоматичних систем регулювання та суттєво спростити пошук оптимальних налаштувань регулятора за квадратичною оптимізаційною функцією.

Вступ

Не дивлячись на довгу історію розвитку ПІД – регуляторів велику кількість публікацій щодо різних аспектів їх застосування [1–4], визначення передаточної функції об'єкта керування (ОК) та оптимальних налаштувань регулятора (ОНР) залишається однією з основних проблем при синтезі автоматичних систем регулювання (АСР). Одним з ключових питань під час синтезу АСР є розробка адекватної математичної моделі (ММ) об'єкта керування (ОК). Як правило, в якості ММ маємо диференціальне рівняння великого порядку. Безумовно моделі високих порядків більш точно описують динаміку об'єкта, але їх застосування обмежується тим, що: по-перше, їх використання в алгоритмах пошуку ОНР ПІД – регулятора та їх оптимізація потребує дуже багато комп'ютерного ресурсу; по-друге при великій кількості параметрів і високому рівні шуму вимірювань кількість інформації, що отримано в експерименті, виявляється недостатньою для ідентифікації тонких особливостей поведінки об'єкта. В роботах [1,2,5,6] показано, що розробка ММ значно спрощується, якщо за кривою розгону (КР) провести апроксимацію еквівалентного ОК (ЕОК) передаточною функцією другого порядку з запізненням. Параметри одержаної математичної моделі знаходять використовуючи метод найменших квадратів (МНК) [5–7].

В роботі [6] запропоновано спосіб апроксимації перехідної характеристики ланкою другого порядку та досліджено залежність точності апроксимації від кількості точок на кривій перехідного

процесу (ПП), що обираються шляхом рівномірного розподілу останньої. Однак такий підхід не враховує усіх особливостей ОК, а, відповідно, не в змозі забезпечити максимальної точності апроксимації. Відомо, що перехідна функція є неперервною та диференційованою. Зміна похідних у часі є додатковою інформацією про динаміку ОК, що дозволяє набагато точніше ідентифікувати ОК. Ці характеристики мають екстремуми, які можна однозначно визначити і використати як характерні точки(ХТ) процесу.

Мета роботи

Розробка алгоритму ідентифікації ОК з використанням ХТ ланкою другого порядку з часом запізнення та визначення залежності похибки ідентифікації від кількості ХТ.

Алгоритм ідентифікації ОК

Вважаємо, що диференціальне рівняння, яке моделює об'єкт, має загальний вигляд:

$$T_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = Kx .$$

Динаміка перехідних процесів описується такими параметрами як швидкість V , прискорення a , швидкість прискорення Va і т.д. (рис. 1, 2), які є похідними від вихідного сигналу y за часом t . Часові характеристики об'єкта керування залежать від його властивостей (об'єм, конструктивні особливості, теплоємність матеріалів, з яких виготовлено апарат, каталізатора тощо) та властивостей речовини, яка в ньому знаходиться. Відповідно до цього координати екстремумів максимуму та мінімуму

му на часових характеристиках будуть визначатися цими параметрами ОК. Як видно з рис. 1 і 2, при ПП мають місце дуже характерні сплески значення швидкості v , прискорення a та швидкість прискорення va , тобто вони мають ХТ – точки глобальних екстремумів, які визначаються однозначно. А так як ці точки визначаються однозначно, вони максимально характеризують ПП. Отже їх можна використати для ідентифікації ОК.

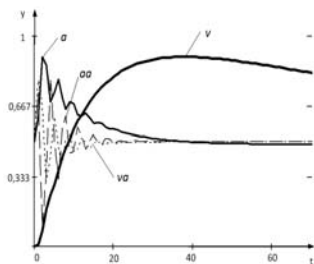


Рис. 1. Графіки похідних продувної колони: v – швидкість ПП; a – прискорення ПП; va – швидкість прискорення ПП; aa – прискорення прискорення ПП

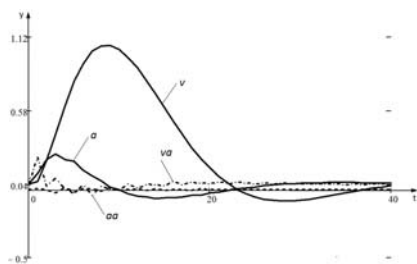


Рис. 2. Графіки похідних турбіни ГТТ-3-М: v – швидкість ПП; a – прискорення ПП; va – швидкість прискорення ПП; aa – прискорення прискорення ПП

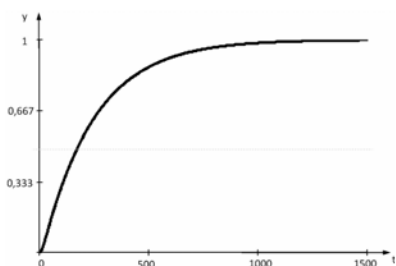


Рис. 3. Крива розгону ЕОК продувної колони

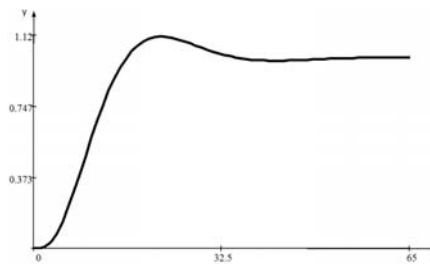


Рис. 4. – Крива розгону ЕОК турбіни ГТТ-3-М
Залежно від виду ПП, його рівняння матиме вигляд [1,3,5,6]:

– для аперіодичного процесу:

$$y(t) = H(t-\tau) \cdot K_p \cdot u_0 \times \left[1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{-(t-\tau)}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-\frac{-(t-\tau)}{T_2}} \right], \quad (1)$$

де K_p – коефіцієнт передачі; u_0 – вхідний сигнал (наприклад ступінчасте збурення); y – вихідний сигнал; T_1, T_2 – постійні часу; τ – час запізнення; $H(t-\tau)$ – функція Хевісайда;

– для коливального процесу:

$$y(t) = H(t-\tau) \cdot K_p u_0 \times \left[1 - \exp(-\alpha_0(t-\tau)) (\cos(\omega_0 \cdot (t-\tau)) + \frac{\alpha_0}{\omega_0} \sin(\omega_0(t-\tau))) \right], \quad (2)$$

де α_0 – ступінь загасання перехідного процесу; ω_0 – власна частота коливань системи.

В цих рівняннях є чотири невідомих параметри. Коефіцієнт K_p знаходиться за кривою розгону. Для ПП, що наведено на рис. 3 та 4, $K_p=1$. Для того щоб знайти останні три параметри (для аперіодичного це T_1, T_2 і τ , а для коливального це α_0, ω_0 і τ), слід будувати графіки похідних ПП ЕОК (рис. 1, 2), за якими визначаємо ХТ. Визначаємо невідомі коефіцієнти рівняння ПП, використовуючи, наприклад, МНК. Підставляємо знайдені значення невідомих параметрів у відповідне рівняння (1) або (2), для отримання рівняння перехідної функції. Потім знаходимо передаточну

Таблиця 1

Оптимальні значення параметрів та залежність похибки апроксимації від кількості ХТ для ПП продувної колони

Похідна	№	$\delta_{\max}, \%$	σ	T_1	T_2	τ, c
1	1	0,421	$5,400 \cdot 10^{-4}$	237,478	8,360	3,969
1,2	3	0,011	$4,850 \cdot 10^{-5}$	237,491	11,491	1,076
1,2,3	5	$6,723 \cdot 10^{-3}$	$2,230 \cdot 10^{-5}$	237,450	11,535	1,042
1,2,3,4	6	$2,797 \cdot 10^{-3}$	$1,360 \cdot 10^{-5}$	237,394	11,597	0,993

функцію, використовуючи пряме перетворення за Лапласом отриманого рівняння [5,6,8,9].

Покажемо роботу запропонованого алгоритму на прикладах перехідних процесів різного характеру.

Апроксимація параметрів аперіодичного та коливального ОК відповідно аперіодичною та коливальною ланками другого порядку з часом запізнення

Розглянемо апроксимацію аперіодичного ОК на прикладі продувної колони (рис. 3) та коливального ОК на прикладі турбіни ГТТ-3-М у виробництві азотної кислоти (рис. 4).

Для апроксимації КР ЕОК (рис. 3 і 4) відповідним ПП ланки другого порядку з часом запізнення застосуємо запропонований вище алгоритм. Знайдені оптимальні значення параметрів та залежність похибки апроксимації (максимальне відхилення між кривими δ_{\max} та середньоквадратичне відхилення σ) від кількості ХТ N для ПП продувної колони наведено в табл. 1, а для ПП турбіни ГТТ-3-М – в табл. 2.

Таблиця 2

Оптимальні значення параметрів і залежність похибки апроксимації від кількості ХТ для ПП турбіни ГТТ-3-М

Похідна	№	δ_{\max} , %	σ	α_0	ω_0	τ , с
Без похідної	2	8,643	0,096	0,110	0,160	3,033
	4	3,522	0,030	0,110	0,160	2,402
	6	2,270	0,016	0,110	0,158	2,147
	7	1,965	0,014	0,110	0,157	2,074
1	2	9,005	0,116	0,096	0,177	2,732
1,2	4	1,074	0,015	0,107	0,152	1,792
1,2,3	6	1,268	0,014	0,107	0,153	1,862
1,2,3,4	7	1,053	0,016	0,106	0,151	1,780

Аналізуючи результати досліджень можна зробити висновок, що при використанні ХТ двох похідних похибка апроксимації не перевищує 3%. Подальше збільшення ХТ третьої та четвертої похідних на похибку апроксимації практично не впливає. Тому при ідентифікації параметрів даних моделей ланками другого порядку досить взяти ХТ тільки перших двох похідних (швидкість v та прискорення a). Після визначення невідомих параметрів та підстановки їх у відповідні рівняння (1) та (2) отримуємо рівняння перехідних функцій:

– для продувної колони:

$$y(t) = H(t-1,076) \times \left[1 - 1,051 \cdot e^{-4,211 \cdot 10^{-3} \cdot t + 4,533 \cdot 10^{-3}} + 0,051 \cdot e^{-0,087 \cdot t + 0,094} \right]; \quad (3)$$

– для турбіни ГТТ-3-М:

$$y(t) = H(t-1,792) \times \left[1 - e^{-0,107 \cdot (t-1,792)} (\cos(0,152(t-1,792)) + 0,707 \sin(0,152(t-1,792))) \right]. \quad (4)$$

Зрівняємо експериментальні КР продувної колони та турбіни ГТТ-3-М з ідентифікованими моделями (рис. 5, 6).

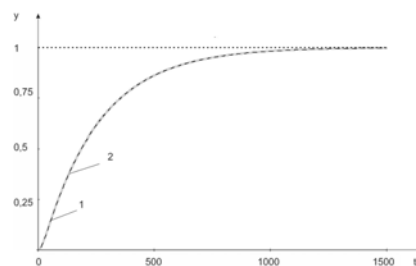


Рис. 5. Криві розгону: 1 – продувної колони; 2 – ланки другого порядку з часом запізнення

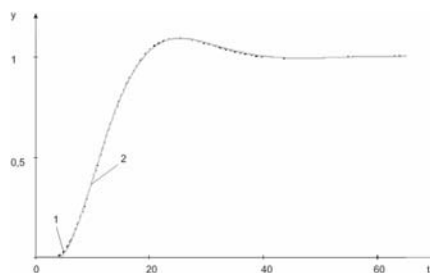


Рис. 6. Криві розгону: 1 – ГТТ-3-М; 2 – ланки другого порядку з часом запізнення

Аналізуючи рис. 5 та 6, можна зробити висновок, що максимальне відхилення при апроксимації ПП продувної колони та турбіни ГТТ-3-М відповідно аперіодичною та коливальною ланками другого порядку з запізненням при взятті ХТ перших двох похідних не перебільшує 3%.

Зробимо пряме перетворення за Лапласом рівняння (3) та (4), щоб отримати передаточні функції ідентифікованих ланок [5,9]:

– для продувної колони:

$$W(s) = \frac{e^{-1,076s}}{2729,099 \cdot s^2 + 248,982 \cdot s + 1}; \quad (5)$$

– для турбіни ГТТ-3-М

$$W(s) = \frac{e^{-1,792s}}{29,236 \cdot s^2 + 6,242 \cdot s + 1}. \quad (6)$$

Ці рівняння можна надалі використовувати

для пошуку ОНР [2].

Висновок

Крім наведених прикладів, в роботі було досліджено цілу низку ОК з різним ступенем коливальності та інерційності [10,11].

Перевагою запропонованого алгоритму є те, що: по-перше координати характерних точок визначаються однозначно; по-друге, вони можуть бути визначені як у процесі зняття характеристики, так і після цього; по-третє, кількість точок, що використовуються, зменшилася в півтора рази в порівнянні з алгоритмом рівномірного розподілу точок [6].

Таким чином, в роботі розв'язано задачу зменшення ступеня диференційного рівняння перехідного процесу ЕОК до другого та проаналізовано залежність похибки апроксимації від кількості точок на КР. Показано, що для апроксимації кривої ПП доцільно брати ХТ, які є координатами глобальних екстремумів похідних від функції перехідного процесу, та визначаються графічно. Це дозволить суттєво полегшити процес аналізу і оптимізації динамічних характеристик АСР та суттєво спростити пошук ОНР за квадратичною оптимізаційною функцією [2].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. — М.: Горячая линия — Телеком, 2009. — 608 с.

2. Оптимальне настроювання регулятора за квадратичною оптимізаційною функцією / М.В. Ананьев, О.Б. Целіщев, М.Г. Лорія, П.Й. Єлісєєв // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля. — 2010. — № 6(148).

— Ч.2. — С.134-141.

3. Стенцель Й.І., Поркуян О.В. Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв: Підручник. — Луганськ: вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля, 2010. — 300 с.

4. O'Dwyer A. PID compensation of time delayed processes 1998–2002: a survey. Proceedings of the American Control Conference. Denver, Colorado June 4–6. ZW3.

5. Ідентифікація об'єктів керування / Ананьев М.В., Целіщев О.Б., Лорія М.Г., Єлісєєв П.Й., Єрохіна О.В. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2010. — № 2(36). — С.178-181.

6. Апроксимація перехідної функції об'єкта керування ланкою другого порядку / М.В. Ананьев, О.Б. Целіщев, М.Г. Лорія, П.Й.Єлісєєв // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2011. — № 2. — С.209-213.

7. Математичне моделювання технологічних об'єктів / О.Б. Целіщев, П.Й. Єлісєєв, М.Г. Лорія, І.І. Захаров. — Луганськ. Вид-во Східноукр. нац. унів. ім. В. Даля, 2011. — 421 с.

8. Дьяконов В.П. Mathcad 11,12,13 в математике. Справочник. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 958 с.

9. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы: Учебное пособие. — СПб.: Питер, 2005. — 336 с.

10. Вітковський С.О., Єрохіна О.В. Математична модель теплообмінної секції багатовентильторного апарату повітряного охолодження // Технологія 2011: Всеукраїнська науково-технічна конф. — м. Северодонецьк. — 2011. — С.44-45.

11. Ананьев М.В., Труфанова Ю.А. Використання перехідної функції коливальної ланки другого порядку для ідентифікації об'єктів керування // Технологія 2011: Всеукраїнська науково-технічна конф. — м. Северодонецьк. — 2011. — С.40-41.

Надійшла до редакції 25.06.2012