



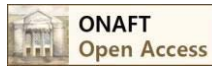
УДК 004.045

ОПИС ДИНАМІКИ ПЕРІОДИЧНОГО ОБ'ЄКТУ З ДОПОМОГОЮ МОДЕЛІ З НЕСТАЦІОНАРНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Трегуб В.Г.¹, Бокоч І.В.²^{1,2}Національний університет харчових технологій, Київ, УкраїнаORCID: ¹0000-0002-3626-6340, ²0000-0003-3612-944XE-mail: ¹tregubvg70@gmail.com, ²ua2d2ua@gmail.com

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation technologies and business - processes.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

DOI:

Анотація. Основною ціллю роботи є розробка динамічної моделі з нестационарними параметрами, що має просту процедуру їх визначення з використанням експериментальних даних. Було вивчено та проаналізовано існуючі динамічні математичні моделі об'єктів періодичної дії та встановлено, що запропонована нестационарна аперіодична ланка суттєво спростить процедуру обчислення, яка виникає при застосуванні формальних динамічних моделей. На основі експериментальних даних показано перевагу використання розробленої моделі з нестационарною аперіодичною ланкою перед іншими розглянутими моделями. В результаті зменшилась кількість ідентифікованих параметрів та використовувалися більш економічні без пошукові методи без погіршення точності моделі.

Abstract: The main aim of the work is development of the dynamic model with time-varying parameters. Empirical data is used to determine parameters of the model. Existing dynamic mathematical models of batch processes are thoroughly studied and analyzed. It is established that the usage of a time-varying aperiodic link significantly simplifies the calculation procedure that occurs in case of applying formal dynamic models. The advantage of applying the developed model with the time-varying aperiodic link compared to the other considered models is shown. As a result, the number of identified parameters is reduced and the sufficient accuracy of the model is provided due to the usage of methods based on the empirical data processing.

Ключові слова: об'єкт періодичної дії, математична модель, нестационарна аперіодична ланка, нестационарна стала часу.

Keywords: batch object, mathematical model, non-stationary aperiodic link, non-stationary time constant.

Постановка проблеми. Особливістю динамічних моделей об'єктів періодичної дії (ОПД) є їх нелінійність і нестационарність викликана суттєвими змінами хіміко-фізичних властивостей робочого середовища під час розвитку процесу від початкового до кінцевого стану. І хоча нелінійності, які містять ці моделі, можуть бути не суттєвими, проте їх лінеаризація неможлива через значні зміни вхідних і вихідних змінних під час функціонування ОПД.

Найбільш поширеним є випадок, коли математична модель приймає вигляд

$$\frac{dx}{d\tau} = f[x(\tau), u(\tau), z(\tau), a(\tau)], \quad (1)$$

де f – вектор-функція; x – вектор вихідних координат об'єкта; u, z – відповідно вектори управлiнь і збурень; a – вектор параметрів моделі; τ – час.

Існують методи [1] визначення $a(\tau)$ за експериментальними даними з допомогою прямого варіаційного метода та ітераційної процедури, при яких ця функція розкладається в усичений ряд

$$a(\tau) = \sum_{i=0}^k a_i \varphi_i(\tau), \quad (2)$$

де $a = \{a_0, a_1, \dots, a_k\}$ – вектор параметрів моделі; $\varphi_i(\tau)$ – лінійно незалежні функції τ ; k – натуральне число.

Враховуючи особливості ОПД, в моделі (1) вектор параметрів моделі може бути представлений вектор-функцією $a(x)$, тоді в усичений ряд розкладається функція

$$a(x) = \sum_{i=0}^k a_i x^i, \quad (3)$$

Далі при фіксованому значенні k за ітераційною процедурою визначають вектор $a^* = \{a_0^*, a_1^*, \dots, a_k^*\}$, при якому функція нев'язки між експериментальними і розрахунковими значеннями a досягає мінімуму. Процедuru повторюють



збільшуючи значення k до тих пір, поки покращення функції нев'язки стає несуттєвим. Однак збільшення k призводить до збільшення розмірності задачі, що викликає значні утруднення в її розв'язанні.

Мета дослідження. Для опису динаміки об'єкту періодичної дії розробити математичну модель з нестационарними параметрами, яка б мала просту процедуру визначення $a(\tau)$ за експериментальними даними.

Результати дослідження. Обчислювальну процедуру, що виникає при використанні формальних динамічних моделей (1) для ідентифікації динамічних властивостей ОПД, розглянемо із застосуванням нестационарної аперіодичної ланки (НАЛ), загальне рівняння якої має такий вигляд [2]:

$$T(\tau) dx/d\tau + x = ku, \quad (4)$$

де T – постійна часу ланки, що залежить від часу; k – коефіцієнт передачі. При пошуку залежності T від часу введемо показник нестационарності цього параметру таким чином, щоб при значенні $n=1$ рівняння (4) перетворилося б в рівняння типової стаціонарної аперіодичної ланки. Тоді:

$$T(\tau) = \Theta^n / n\tau^{n-1}, \quad (5)$$

де Θ – постійна часу НАЛ, що не залежить від часу, причому при значенні $n=1$ постійна T буде дорівнювати Θ .

Після підстановки (5) у (4) отримаємо рівняння НАЛ

$$(\Theta^n / n\tau^{n-1}) dx/d\tau + x = ku, \quad (6)$$

Формулу для розрахунку T можна представити і у вигляді $T(x)$, якщо виключити час τ з формули (5). Так для випадку $u(0)=u_0$, $x(0)=0$ формула (6) після інтегрування прийме вигляд:

$$x = ku_0 \{1 - \exp[-(\tau/\Theta)^n]\}. \quad (7)$$

Тепер з формули (7) визначаємо час

$$\tau = \Theta \{ \ln [ku_0 / (ku_0 - x)] \}^{1/n}$$

і підставляємо у формулу (5)

$$T(x) = \Theta/n \{ \ln [ku_0 / (ku_0 - x)] \}^{(1-n)/n}.$$

Дослідження перехідної функції НАЛ показує, що при зміні показника нестационарності $n \in [0, \infty]$ перехідна характеристика охоплює всі можливі форми аперіодичної кривої розгону з різними видами запізнення, що підтверджує можливість представлення $T(\tau)$ у вигляді (5) для таких характеристик. Спільність цієї моделі доводить також те, що рівняння типової стаціонарної лінійної ланки є окремим випадком НАЛ при $n=1$.

Перевага моделі (6) перед іншими моделями з нестационарними параметрами є мінімальна кількість додаткових параметрів (тільки показник нестационарності n), визначення якого не потребує варіаційних методів і ітераційної процедури, що значно скорочує час обробки експериментальних даних.

Проілюструємо переваги використання моделі (6) на прикладі обробки одних і тих же експериментальних даних з допомогою двох розглянутих вище моделей і методів. Експериментальні значення x^e зміни температури реакційного середовища реактора періодичної дії [3] при стрибкоподібній зміні температури однофазного рідинного теплоносія у зовнішньому змійовику на $\Delta u=250^\circ\text{C}$ наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Експериментальні і розрахункові значення

τ , хв	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
x^e , $^\circ\text{C}$	36,6	75,5	120,5	158,5	189,8	208,5	225,5	233,5	238,5	243,5
x^p , $^\circ\text{C}$	36,6	75,0	120,7	158,7	187,8	208,9	223,6	233,4	239,7	243,8

У результаті розкладання $a(x)$ у ряд (3) були визначені значення вектору $a^* = \{a^*_0, a^*_1, \dots, a^*_k\}$, що мінімізує таку функцію нев'язки:

$$\Phi(a) = \int_0^{\tau^k} [x^e - x^p(u^e, a)]^2 d\tau, \quad (8)$$

де x^e , u^e , x^p – експериментальні та розрахункові значення змінних.

Значення $\Phi(a)$ знаходили для кожного фіксованого $k=0, 1, 2, 3, 4, \dots, n$ збільшуючи його до тих пір, поки покращення $\Phi_k(a^*)$ не стало меншим 5% від $\Phi_{k-1}(a^*)$. У результаті для $k=3$ отримали модель (3) у такому вигляді:

$$a(x) = 52 - 0,369x + 0,275 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,859x^3. \quad (9)$$

Значення співвідношення (8) при застосуванні пошукового методу визначення параметрів моделі склало $\Phi_n(a^*) = 143,2^\circ\text{C}^2\text{хв}$.

Тепер використаємо для обробки наведених експериментальних даних модель (4). Попередньо замінемо змінну x її прирощенням $\Delta x = x - 36,6^\circ\text{C}$ та представимо рівняння (7) для випадку $\Delta x(0)=0^\circ\text{C}$ та $\Delta u(0)=250^\circ\text{C}$ у такому вигляді:

$$\Delta x = \Delta x_m \{1 - \exp[-(\tau/\Theta)^n]\}, \quad (10)$$

де Δx_m – максимальне значення змінної, яке у даному випадку дорівнює $213,4^\circ\text{C}$. Після подвійного логарифмування рівняння (10) стає рівнянням прямої у відповідних координатах і при визначенні його параметрів з



допомогою МНК отримаємо такі їх значення: $n = 1.3$ та $\Theta = 34,04$ хв. Значення перехідної характеристики x^p , розраховані за рівнянням (10) для знайдених n та Θ , наведені у таблиці. Значення функції нев'язки у цьому випадку суттєво зменшилися і склало $\Phi_B(a^*) = 95,05$ °C²хв.

Висновок. Розроблена модель з нестационарною сталою часу для опису динаміки періодичного процесу, що забезпечує зменшення кількості ідентифікованих параметрів та використання для їх визначення більш економічних без пошукових методів без погіршення точності моделі.

Список використаних джерел

- [1] Цирлин А.М. Вариационные методы оптимизации управляемых объектов / А.М. Цирлин, В.С.Балакирев, Е.Г.Дудников. – М.: Энергия, 1976. – 448с.
- [2] Трегуб В.Г. Керування об'єктами періодичної дії / В.Г. Трегуб, О.М. Клименко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2013. - №2. – С.85-89.
- [3] Балакирев В.С. Методы расчета на ЭЦВМ коэффициентов теплообмена аппаратов периодического действия / В.С. Балакирев, Е.Б. Манусов // Инженерно-технический журнал. – 1969. – №3. – С.472-479.

References

- [1] A. M. Cirilin, V. S. Balakirev and E. G. Dudnikov, Variacionnye metody optimizacii upravlyaemyh ob"ektov. Moskva: Energiya, 1976.
- [2] V. G. Tregub and O. M. Klimenko, "Keruvannya ob"ektami periodicnoi dii," Naukovi visti NTUU KPI, no. 2, pp. 85-89, 2013.
- [3] V. S. Balakirev and E. B. Manusov "Metody rascheta na ECVM koehfficientov teploobmena apparatov periodicheskogo dejstviya," Inzhenerno-tehnicheskij zhurnal, no. 3, pp. 472-479, 1969.

УДК 681.51

ПРЕЦИЗИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА ИНСТРУМЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОЧИСТКОЙ

Тонконогий В. М.¹, Киркопуло Е. Г.²

ORCID: ¹0000-0003-1459-9870, ²0000-0001-5570-5989

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation technologies and business - processes. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY). <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI:

Аннотация. Показана актуальность разработки точных систем управления процессом ионно-плазменной очистки инструмента. Важным критерием качества программного управления при очистке является поддержание температуры очищаемого инструмента в соответствии с заданной временной программой при недопустимости перегрева в радиальном направлении. Максимальное допустимое отклонение температуры от заданной линейной программы нагрева составляет ± 25 К. В статье исследуется проблема распределения температурного поля при нагреве металлорежущего инструмента цилиндрической формы для ранее разработанной системы автоматического управления температурным режимом ионно-плазменной установки Булат. В установке нагрев инструмента производится как за счет потоков тепла ионной бомбардировки, так и от нагретой подложки, а потери тепла происходят в результате излучения. Тепловой поток излучения определяется законом Стефана-Больцмана. Теплопередача от нагретой подложки к инструменту определяется законом Фурье. Для анализа качества работы системы управления было проведено прецизионное моделирование технологического процесса с