

## СЕКЦІЯ 8: ТЕОРЕТИЧНА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

### ДОСЛІДЖЕННЯ НЕОБХІДНОСТІ АДАПТАЦІЇ ПОКРОКОВОГО АЛГОРИТМУ КУСОЧНО-СТАЛОГО КЕРУВАННЯ ДО РІВНЯ ШУМІВ У ВИМІРАХ

Сільвестров А.М., д.т.н., професор, Беленок Н.В., ст. викладач, Мороз Д.А., студент

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки*

**Вступ.** Існують різні методи адаптивного оптимального керування, задані з точністю до певних параметрів. Зокрема, метод кусочно-сталого керування з адаптацією і ідентифікацією перехідної функції [1, 2].

Однак, доцільно розглянути, чи існує необхідність додаткової адаптації параметрів цих методів до нестационарних умов.

**Мета.** Дослідити необхідність адаптації метода кусочно-сталого керування у випадку зміни характеристик об'єкта і рівня шумів вимірів.

**Матеріали та результати досліджень.** Розглянемо відпрацювання початкового розузгодження між заданим нульовим і поточним значенням  $x(t)$  нестационарного об'єкта

$$\tau(t) \frac{dx}{dt} + x(t) = ku(t),$$

де:  $\tau(t)$  – нестационарна стала часу;  $k$  – постійний коефіцієнт.

Процес відпрацювання початкового розузгодження  $x(0)$  до кінцевого нульового реалізується відомим алгоритмом [1, 2].

1. За даними попереднього кроку  $[(k-1)T, kT]$  розраховується прогнозне значення

$$x_{p0}(kT + \lambda) = x(kT) + \lambda \dot{x}(kT),$$

де:  $\lambda \in [0; T]$ ;  $\dot{x}(kT)$  – похідна від  $x(t)$  в точці  $kT$ .

2. Розраховується прогнозне значення  $\varepsilon_{p0}(kT + \lambda)$  похибки між бажаним значенням  $x^* = 0$  і прогнозним:

$$\varepsilon_{p0}(kT + \lambda) = x_{p0}(kT + \lambda) - x^*. \quad (1)$$

3. Для відомих на попередньому кроці значень

$$x((k-1)T + \lambda), x_{p0}((k-1)T + \lambda), \Delta u((k-1)T + \lambda)$$

на інтервалі  $[(k-1)T, kT]$  розраховується не параметрична оцінка перехідної функції:

$$h(\lambda) = \frac{x((k-1)T + \lambda) - x_{p0}((k-1)T + \lambda)}{\Delta u((k-1)T + \lambda)}.$$

4. За умови мінімуму квадратичного показника якості керування

$$J_{k+1} = \int_0^T [\varepsilon_0^2(kT + \lambda) + cu^2(kT + \lambda)] d\lambda,$$

де  $\varepsilon_{p0}(kT + \lambda)$  визначається за формулою (1), а

$$x(kT + \lambda) = x_{p0}(kT + \lambda) + \Delta u(kT) \cdot h(\lambda),$$

визначається оптимальна для  $k$ -го кроку сходінка:

$$\Delta u(kT) = \frac{\int_0^T [\varepsilon_{p0}(kT + \lambda) \cdot h(\lambda) + cu(x - 1)] d\lambda}{\int_0^T [h^2(\lambda) + c] d\lambda}$$

і подається на об'єкт.

5. Запуск системи починається з подачі невеликої довільної сходінки  $\Delta u(0)$ , з аналізом реакції  $x(t)$ ,  $t \in [0, T]$  і обчислень, необхідних складових для старту рекурентного алгоритму (пункт 1 ÷ 4).

Для дослідження необхідності адаптації інтервалу  $T$  було проведено числове моделювання.

Результати числового моделювання, за якого змінна  $x(t)$  вимірювалась з «білим шумом» різної інтенсивності (0; 0,1; 0,5), стала часу змінювалась за час відпрацювання похибки  $x(0)$  до нуля в два рази, дозволили отримати залежність нормованого по  $\tau(0)$  часу  $t_{\text{пп}}$  перехідного процесу від довжини  $T$  кусочно-сталого керуючого впливу  $u(t)$  і співвідношення шум  $\delta x$  – сигнал  $x(t)$  (табл. 1).

Таблиця 1 – Залежність відносного часу  $t_{\text{пп}}/\tau(0)$  від співвідношення середньоквадратичних значень шуму  $\sigma_{\delta x}$  і сигналу  $\sigma_x$

$\sigma_{\delta x}/\sigma_x$	Довжина інтервалу $T$		
	$0,5 \tau(0)$	$\tau(0)$	$2 \tau(0)$
0	3	4	5
0,1	5	3	4
0,5	8	7	5

Як витікає з даних таблиці 1, мінімальний час перехідного процесу залежить, як від довжини  $T$  часу сталості керуючого впливу, так і від рівня шумів у вимірах  $x(t)$ : і для точних даних мінімальний час буде  $T = 0,5 \cdot \tau(0)$ , для 10-відсоткового шуму,  $T = \tau(0)$ , для 50-відсоткового шуму,  $T = 2\tau(0)$ .

**Висновок.** Таким чином, маємо висновок про важливість адаптації алгоритму [1, 2], як до не стаціонарності об'єкта, так і до рівня зашумленості вимірів.

#### Перелік посилань

1. George N Saridis. Self-organizing control of stochastic systems (Control and systems theory; v. 4)/ Hardcover – January 1, 1997. – 488 p.
2. Сучасні системи автоматичного керування технологічними комплексами: навч. посіб. / Сільвестров А. М., Островерхов М. Я., Шефер О. В., Ладік Н. А., Зіменков Д. К. ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 386 с.