

## АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 62:681.3

Г. Крих, А. Самсон

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

### ПОКРАЩАННЯ ЯКОСТІ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ З НЕЧІТКОЮ ЛОГІКОЮ САМОНАСТРОЮВАННЯ

© Крих Г., Самсон А., 2003

**The method of tuning of the controller based on rules of fuzzy-logic is considered. On the basis of analysis of step responses obtained during self-tuning of an automatic control system the matrix correction factors of parameters of PI - controller is specified. It has allowed to receive steady iterative process of self-tuning and to improve indexes of quality automatic control system.**

Настроювання звичайних систем автоматичного регулювання (САР) вимагає достатньо повної апріорної інформації про об'єкт регулювання, а саме, необхідно знати математичну модель об'єкта і межі зміни його параметрів залежно від діючих збурень. Для складних об'єктів з неповною інформацією про їх властивості застосовують самонастроювальні системи регулювання. Такі системи забезпечують автоматичну зміну параметрів настроювання і пошук їх оптимальних значень залежно від змінних умов роботи об'єкта регулювання. Серед самонастроювальних САР широке застосування останнім часом знайшли системи з нечіткою логікою настроювання, перевагою яких вважається те, що для настроювання регулятора не потрібно знати математичну модель [1].

Відомим методом параметричної оптимізації САР із застосуванням нечіткої логіки є покрокова зміна параметрів регулятора з оцінкою оператором перехідної функції САР на кожному кроці [2]. Цей метод ґрунтується на залежності вигляду перехідної функції САР від значень параметрів настроювання САР і вимагає від оператора значного досвіду роботи.

Правила настроювання ПІ-регулятора, запропоновані в [3], забезпечують самонастроювання САР, при якому зміна параметрів регулятора здійснюється залежно від значень характеристик перехідних функцій.

Метою проведених нами досліджень були аналіз ітераційних процесів самонастроювання САР за правилами [3] і їх корегування для скорочення часу настроювання та одержання перехідних процесів САР з меншим часом регулювання.

Відомо, що значення параметрів настроювання ПІ – регулятора  $k_p$  і  $\frac{k_p}{T_{із}}$  ( $k_p$  – коефіцієнт передачі,  $T_{із}$  – час ізодрому), які забезпечують однаковий запас стійкості САР, в площині параметрів настроювання утворюють криву, зображену на рис. 1 [2]. З цієї кривої видно, що САР може мати однаковий запас стійкості при різних значеннях параметрів настроювання регулятора. При цьому показники якості регулювання – максимальне динамічне відхилення, час регулювання, інтегральні оцінки якості – значно відрізняються.

Оптимальними параметрами настроювання вважаються такі, що забезпечують мінімальну квадратичну оцінку при заданому запасі стійкості. Емпірично встановлено, що для багатьох технологічних об'єктів мінімум інтегральної квадратичної оцінки знаходиться в околі екстремуму (максимуму) кривої заданого запасу стійкості.

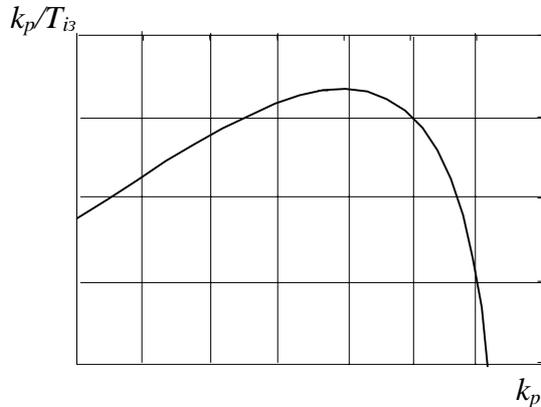


Рис.1. Границя області заданого запасу стійкості САР

Перехідні функції САР, що відповідають параметрам настроювання зліва від цього максимуму, характеризуються великими значеннями часу регулювання, максимального динамічного відхилення, інтегральної квадратичної оцінки. Перехідні процеси, що відповідають спадаючій частині кривої запасу стійкості, містять аперіодичну складову і мають зтяжний характер. Враховуючи ці особливості та вигляд кривої заданого запасу стійкості [2], розроблено алгоритм настроювання параметрів регулятора, черговість і крок зміни яких визначається характером і виглядом перехідного процесу після кожної зміни цих параметрів.

Варто зазначити, що в цьому методі немає необхідності визначати абсолютні значення параметрів настроювання регулятора, а їх зміна здійснюється відносно початкових значень.

В [3] розглянуті правила, що уможливають автоматизувати процес настроювання ПІ-регулятора, а відтак застосовувати їх в самонастроювальних САР. Суть цих правил розглянемо на прикладі САР, структурна схема якої показана на рис. 2. Вона складається з автоматичного регулятора АР, об'єкта регулювання ОР та блока настроювання параметрів регулятора БН. Функція передачі ПІ-регулятора має вигляд

$$W(p) = k_p + \frac{k_p}{T_{i3}p}. \quad (1)$$

Згідно із схемою (рис. 2), для роботи блока з нечіткою логікою настроювання параметрів необхідні лише значення регульованої величини  $x(t)$  і задане значення  $x_{зад}$ .

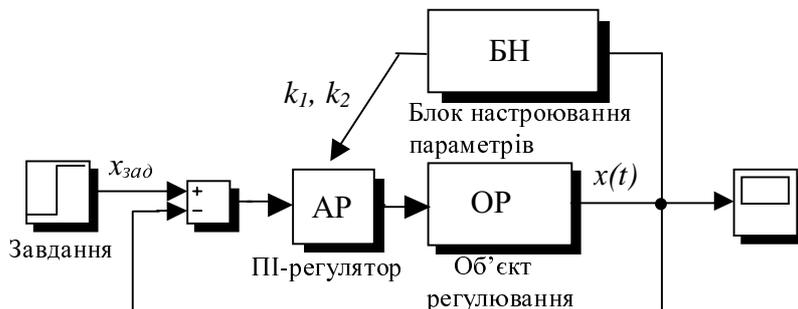


Рис. 2. Структурна схема САР

В [3] запропоновано якість САР оцінювати за показниками перехідної функції, що показані на рис. 3. До цих показників належать: зведене максимальне динамічне відхилення регульованої величини від заданого значення

$$e_{max} = \frac{x_{max}(t) - x_{зад}(t)}{x_{зад}(t)} \quad (2)$$

та відношення

$$\alpha = \frac{t_d}{t_p}, \quad (3)$$

де  $t_p$  – час регулювання, тобто час, протягом якого регульована величина досягає заданого значення із точністю  $\pm \Delta$ ;  $t_d$  – час, за який регульована величина вперше досягає заданого значення з точністю  $\pm \Delta \pm \Delta$ .

Значення  $\Delta$  приймається таким, що дорівнює 5 % від заданого.

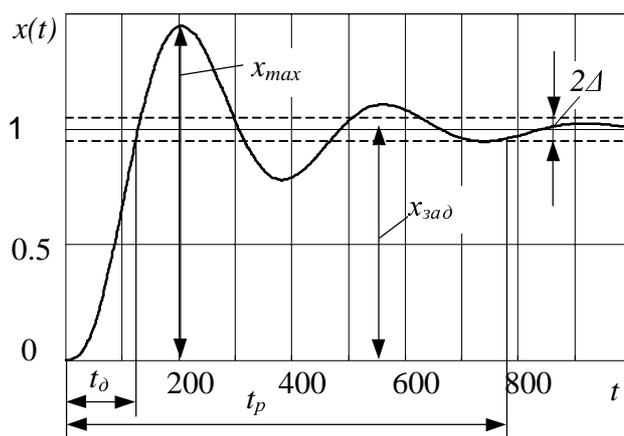


Рис. 3. Показники переходного процесу САР

Вибрані показники і є лінгвістичними змінними, що застосовані авторами при створенні правил з нечіткою логікою настроювання параметрів регулятора. На рис. 4 показано, що характеристиками зведеного максимального динамічного відхилення  $e_{max}$  є “негативне”, “замале”, “нормальне”, “завелике”. Інша лінгвістична змінна – відношення  $\alpha$  – характеризується як “замале”, “нормальне”, “завелике”. Так, “нормальне”  $e_{max}$  для багатьох об’єктів регулювання, за даними авторів [3], знаходиться в межах від 0.05 до 0.1 (у відносних одиницях), а відношення  $\alpha$  – в межах від 0.25 до 0.6.

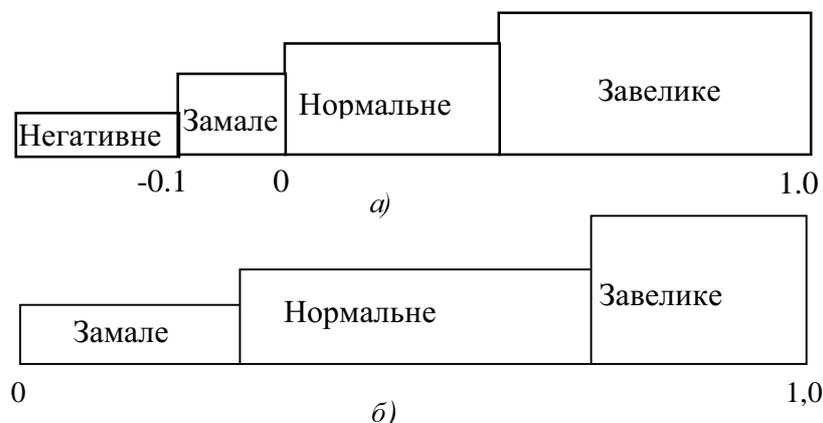


Рис. 4. Характеристики лінгвістичних змінних: а – зведене максимальне динамічне відхилення  $e_{max}$ ; б – відношення  $\alpha$

Характеристики лінгвістичних змінних є основою для вибору коефіцієнтів  $k_1$ ,  $k_2$  корегування параметрів настроювання ПІ-регулятора

$$k_p = k_p \cdot k_1, \quad \frac{k_p}{T_{із}} = \left(\frac{k_p}{T_{із}}\right) \cdot k_2. \quad (4)$$

Матриця значень коефіцієнтів  $k_1$  для настроювання пропорційної складової і  $k_2$  для настроювання інтегральної складової при різних можливих комбінаціях характеристик лінгвістичних змінних подано в [3]. Приклад ітераційного процесу настроювання САР за неведеними правилами показаний на рис. 5.

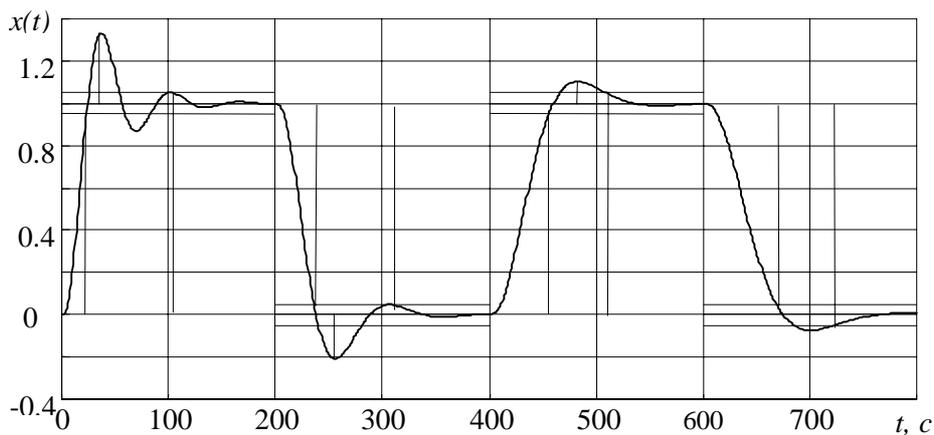


Рис. 5. Ітераційний процес настроювання САР

Запропоновані правила настроювання ПІ-регулятора були застосовані нами при моделюванні самонастроювальної САР в середовищі Matlab.

Нами досліджувались ітераційні процеси настроювання САР з різними об'єктами регулювання з різними початковими значеннями параметрів настроювання, навіть з такими, при яких САР була нестійкою. В більшості випадків запропонований метод нечіткої логіки настроювання ПІ-регулятора давав позитивні результати, тобто кінцеві перехідні процеси задовольняли лінгвістичним змінним “нормальне” як для максимального динамічного відхилення, так і для відношення  $\alpha$ . Кількість ітерацій настроювання деяких САР виявилась досить значною, що можна віднести до недоліку методу, оскільки час настроювання САР, особливо для інерційних об'єктів регулювання, істотно зростає. Крім того, порівнювались показники якості перехідних процесів САР, отриманих за методом нечіткої логіки настроювання і методом розрахунку на заданий запас стійкості. Порівняльний аналіз цих перехідних процесів показав, що ПІ-регулятор з параметрами настроювання, розрахованими на заданий запас стійкості, забезпечують, як правило, менший час регулювання, але більше максимальне динамічне відхилення.

Розв'язання задачі скорочення тривалості настроювання особливо важливе для інерційних об'єктів регулювання, які широко застосовуються в теплоенергетичних процесах та процесах хімічної технології. В результаті роботи було проведено корегування характеристик лінгвістичних змінних та коефіцієнтів корегування  $k_1$  і  $k_2$  параметрів настроювання регулятора. Так, для лінгвістичної змінної – зведене максимальне динамічне відхилення - “негативне” відповідає  $e_{max} < -0.1$ , “замале” –  $-0.1 \leq e_{max} < 0$ , “нормальне” –

$0 \leq e_{max} \leq 0.2$ , “завелике” –  $0.2 < e_{max} < 1$ . Потрібно зазначити, що від’ємні значення  $e_{max}$  визначались нами при  $0.4t_p$ . Для іншої лінгвістичної змінної – відношення  $\alpha$  – значення “замале” відповідає умові  $0 < \alpha < 0.2$ , “нормальне” –  $0.2 \leq \alpha \leq 0.7$ , “завелике” –  $0.7 < \alpha \leq 1$ .

В табл. 1 і 2 наведені уточнені нами значення коефіцієнтів корегування параметрів настроювання ПІ-регулятора для всіх можливих комбінацій характеристик вибраних лінгвістичних змінних.

Таблиця 1

### Значення коефіцієнта $k_1$ настроювання коефіцієнта передачі ПІ-регулятора

Відношення $\alpha$		“замале”	“нормальне”	“завелике”
Зведене максимальне динамічне відхилення $e_{max}$	“негативне”	1.6	1.7	1.8
	“замале”	1.1	1.3	1.5
	“нормальне”	1.0	1.0	1.0
	“завелике”	0.65	0.75	0.85

Таблиця 2

### Значення коефіцієнта $k_2$ настроювання інтегральної складової ПІ-регулятора

Відношення $\alpha$		“замале”	“нормальне”	“завелике”
Зведене максимальне динамічне відхилення $e_{max}$	“негативне”	2.2	1.3	1.2
	“замале”	2.0	1.1	1.0
	“нормальне”	1.8	1.0	0.9
	“завелике”	0.6	0.8	0.7

Перевірка запропонованих коефіцієнтів для ітераційного корегування параметрів настроювання ПІ-регулятора здійснювалась нами шляхом моделювання систем автоматичного регулювання в середовищі Matlab [4]. Для прикладу наведемо результати моделювання системи автоматичного регулювання з об’єктом регулювання, функція передачі якого має вигляд

$$W(p) = \frac{e^{-20p}}{(30p + 1)^3}.$$

Початкові значення параметрів настроювання ПІ-регулятора прийняті такі  $k_p = 0.7$ ,

$\frac{k_p}{T_{із}} = 0.015$ . На рис. 6 показані перехідні функції САР на кожному кроці зміни параметрів

регулятора за правилами, викладеними в [3]. Як видно з рис. 6 самонастроювання САР здійснюється за чотири ітерації. Після настроювання параметри регулятора набувають

значень  $k_p = 0.0700$ ,  $\frac{k_p}{T_{із}} = 0.00576$ , при яких показники якості САР є такими: зведене

максимальне динамічне відхилення  $e_{max} = 0.058$ , час регулювання  $t_p = 560c$ , час

досягнення заданого значення вперше  $t_d = 315c$ . Процес ітераційного настроювання САР

завершився, оскільки задовольняються нерівності  $0.05 \leq e_{max} \leq 0.1$ ,  $0.25 \leq \alpha \leq 0.6$ .

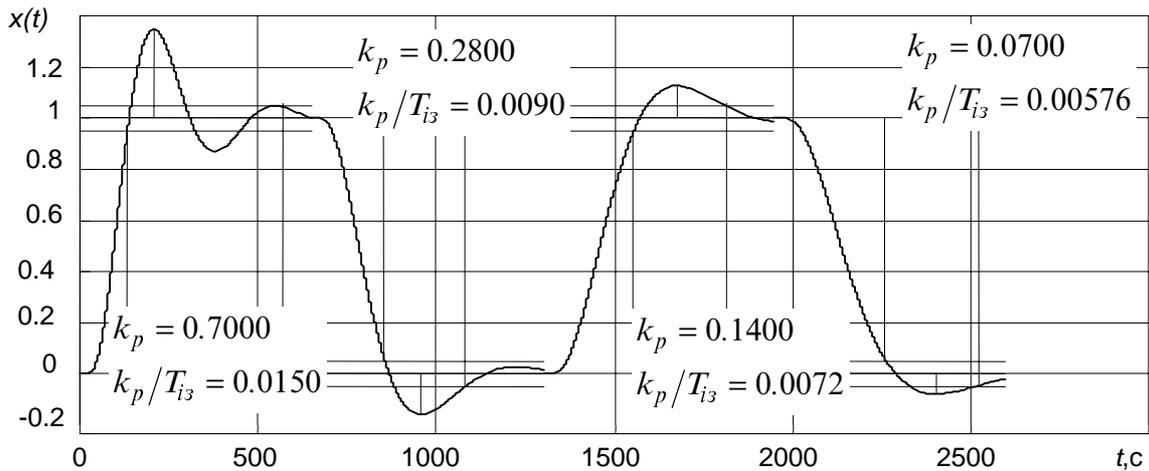


Рис. 6. Перехідні функції САР в процесі самонастроювання за правилами, наведеними в [3]

На рис. 7 показані перехідні функції тієї самої САР, отримані в процесі корегування параметрів регулятора за допомогою коефіцієнтів, наведених в табл. 1 і 2.

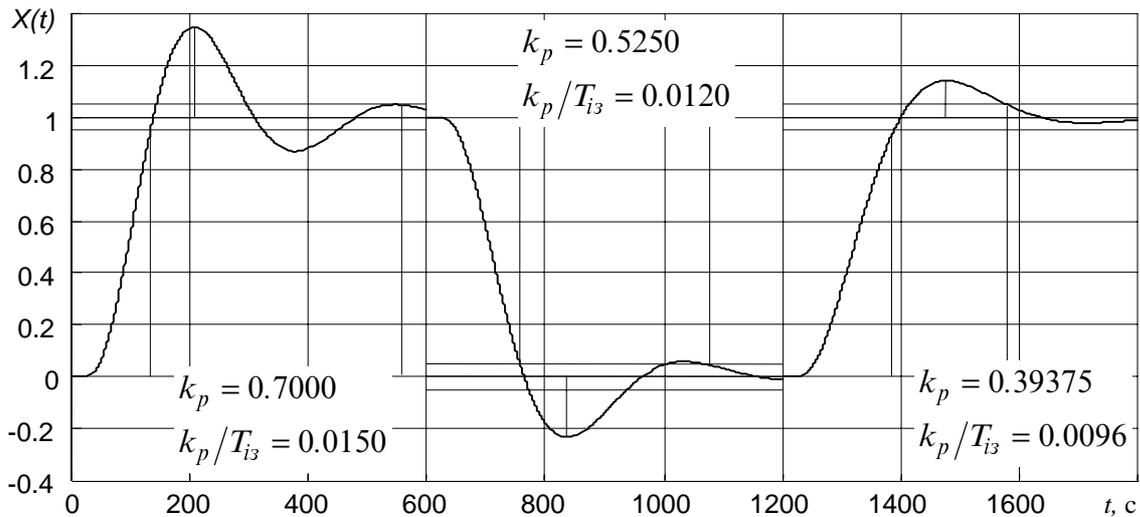


Рис. 7. Перехідні функції САР в процесі самонастроювання із запропонованими коефіцієнтами корегування параметрів ПІ-регулятора

Порівняння рис. 6 і 7 показує, що процес настроювання САР із запропонованими коефіцієнтами  $k_1$  і  $k_2$  та характеристиками лінгвістичних змінних скорочується до трьох ітерацій. Коефіцієнт передачі регулятора після завершення настроювання становить  $k_p = 0.39375$ , а коефіцієнт  $\frac{k_p}{T_{i3}} = 0.0096$ . Для цих значень параметрів настроювання зведене максимальне динамічне відхилення  $e_{max} = 0.14$ , час регулювання САР  $t_p = 380$  с, а час  $t_d = 188$  с. Порівняння перехідних функцій САР на останніх ітераціях показує, що в

самонастроювальній САР із зміненими характеристиками лінгвістичних змінних і значеннями коефіцієнтів  $k_1$ ,  $k_2$  час регулювання зменшується.

Крім того, досліджувалась перехідна функція САР, яка розраховувалась на заданий ступінь коливальності,  $m=0.366$ . Параметри настроювання ПІ-регулятора при цьому становили  $k_p = 0.6627$ ,  $\frac{k_p}{T_{із}} = 0.01366$ . Якщо порівнювати перехідні процеси, отримані в

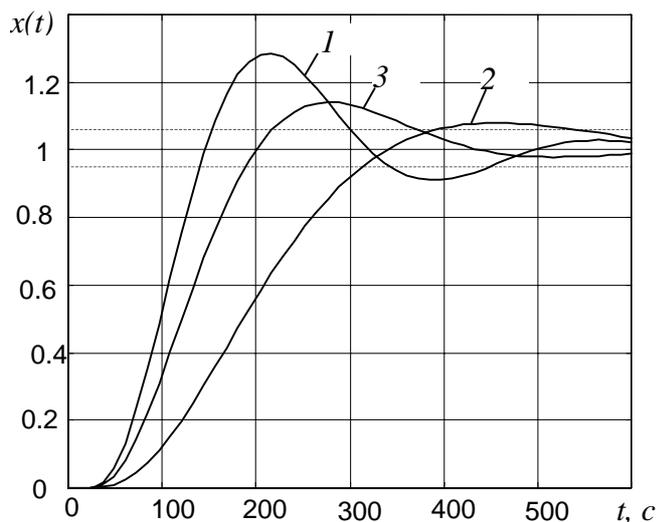


Рис. 8. Перехідні функції САР: 1 – розрахованої на ступінь коливальності  $m=0.366$ ; 2 – після самонастроювання за правилами [3]; 3 – після самонастроювання із запропонованими правилами

самонастроювальній САР (рис. 8, криві 2 і 3) із розрахованим на заданий ступінь коливальності (рис. 8, крива 1), то можна зауважити, що в останньому зведене максимальне динамічне відхилення  $e_{max} = 0.29$  є більшим, ніж після самонастроювання, а час регулювання  $t_p = 450$  с є меншим, ніж в САР, що настроєна за даними [3], але більше ніж в САР, настроєній за запропонованими нами правилами.

Подібні результати отримані нами для САР з об'єктами регулювання з функціями передачі у вигляді послідовно з'єднаних трьох, чотирьох, п'яти аперіодичних ланок, ланки запізнення.

Отже, самонастроювальна САР із корегованими нами правилами

скорочує час настроювання САР (за рахунок зменшення кількості ітерацій), а також забезпечує покращання основних показників якості, а саме зменшується час регулювання. Покращати якість САР можна також, застосовуючи ПІД-регулятор, тому в подальшому необхідно дослідити можливість його самонастроювання за методом нечіткої логіки настроювання.

1. Трофимов А.И., Егунов Н.Д., Дмитриев А.Н. Методы теории автоматического управления, ориентированные на применение ЭВМ. Линейные стационарные и нестационарные модели. – М., 1997. 2. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: Справ. пос. /Под ред. А.С. Клюева.– М., 1989. 3. Pfeiffer В.-М., Izermann R. Selftuning of classical controllers with fuzzy-logic. Mathematics and computers in simulation, 37(1994), p. 101 – 110. 4. Дьяконов В., Круглов В. MATLAB. Анализ, идентификация, моделирование систем. – СПб., 2002.