

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ГАЛУЗІ - 2**

**ЛОКАЛЬНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ПРОЦЕСІВ ТА АГРЕГАТІВ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки

„Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”

*Рекомендовано Вченою радою інженерно-хімічного факультету*

Київ

НТУУ “КПІ”

2012

Автоматизація технологічних процесів галузі – 2. Локальні системи автоматизації технологічних процесів та агрегатів : Метод. вказівки до викон. лабор. робіт для студ. напр. „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології” / Уклад.: В.О. Самсонов, Д.О. Ковалюк, В.С. Цапар – К. : НТУУ ”КПІ”, 2012. – 24 с.

*Гриф надано Вченою радою ІХФ  
(Протокол № 5 від 23 квітня 2012 р.)*

Навчальне видання  
АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ГАЛУЗІ – 2  
ЛОКАЛЬНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ПРОЦЕСІВ ТА АГРЕГАТИВ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”

Укладачі: Самсонов Віктор Олександрович, канд. техн. наук  
Ковалюк Дмитро Олександрович, канд. техн. наук  
Цапар Віталій Степанович

Відповідальний редактор А.І. Жученко, докт. техн. наук, проф.

Рецензент О.Л. Сокольський, канд. техн. наук, доц.

Авторська редакція

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота 1	
Отримання математичної моделі об'єкта керування та дослідження його характеристик .....	5
Лабораторна робота 2	
Дослідження настройки параметрів регулятора методом перехідного режиму .....	10
Лабораторна робота 3	
Дослідження настройки параметрів регулятора методом Ціглера-Нікольса .....	16
Лабораторна робота 4	
Дослідження настройки параметрів регулятора експериментально-ітеративним методом .....	21

## **ВСТУП**

Автоматизація виробничих процесів є важливою задачею, що дозволяє суттєво підвищити продуктивність праці, покращити якість продукції, зберегти енергоресурси, оптимізувати склад обслуговуючого персоналу, підвищити надійність роботи.

Успішне розв'язання усіх вище перерахованих задач досягається впровадженням у виробництво автоматичних систем управління, складовими яких виступає блок регулювання.

У методичних вказівках розглядаються способи настроювання параметрів регуляторів, що реалізують лінійні закони регулювання, та методи отримання математичних моделей об'єктів керування. Поєднання цих складових дозволить реалізувати керування будь яким контуром технологічного процесу.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

### ОТРИМАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИК

**Мета роботи** – навчитися отримувати математичну модель об'єкту аналітичним шляхом та дослідити його характеристики.

#### Теоретичні відомості

Розглянемо отримання математичної моделі об'єкту керування на прикладі випарного апарату.

Матеріальний баланс апарату:

$$G_{вх} = G_{вих} + W, \quad (1.1)$$

де  $G_{вх}$  – витрата розчину на вході в апарат;

$G_{вих}$  – витрата вихідного (упареного) розчину;

$W$  – кількість випареної вологи.

Матеріальний баланс по абсолютно сухій речовині, що знаходиться в розчині:

$$G_{вх} \cdot x_1 = G_{вих} \cdot x_2, \quad (1.2)$$

де  $x_1$  – концентрація початкового розчину;

$x_2$  – концентрація вихідного розчину.

Враховуючи (1.1) та (1.2) запишемо рівняння динаміки для концентрації розчину на виході:

$$G_{\text{вх}} \cdot x_1 - (G_{\text{вх}} - W) \cdot x_2 = V \cdot \rho \cdot \frac{dx_2}{dt}, \quad (1.3)$$

де  $V$  – об'єм розчину,  $\rho$  – густина;  $\frac{dx_2}{dt}$  – зміна вихідної концентрації за проміжок часу.

Перевірка розмірностей рівняння:

$$\frac{\text{кг}}{\text{с}} \cdot \% - \left( \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \frac{\text{кг}}{\text{с}} \right) \cdot \% = \text{м}^3 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\%}{\text{с}}$$

Температурний баланс випарного апарату запишемо наступним чином:

$$G_{\text{вх}} \cdot i_{\text{вх}} + DI_2 = G_{\text{вих}} \cdot i_{\text{вих}} + W \cdot I + Q_{\text{конд}} + Q_{\text{втрат}}, \quad (1.4)$$

де  $i_{\text{вх}} = c_{\text{вх}} \cdot t_{\text{вх}}$  – ентальпія вхідного розчину;

$D$  – витрата гріючої пари;

$I$  – ентальпія гріючої пари.

$i_{\text{вих}} = c_{\text{вих}} \cdot t_{\text{вих}}$  – ентальпія вихідного розчину;

$I$  – ентальпія вторинної (екстра) пари;

Нехтуючи тепловими втратами  $Q_{\text{втрат}}$  та теплою конденсації  $Q_{\text{конд}}$  і враховуючи той факт, що розчин підводиться в апарат підігрітим до температури кипіння (і відводиться відповідно ж за такої температури) перепишемо рівняння наступним чином:

$$G_{\text{вх}} \cdot c_{\text{вх}} \cdot t_{\text{вх}} - (G_{\text{вх}} - W) \cdot c_{\text{вх}} \cdot t_{\text{вх}} - W \cdot I + DI_2 = 0. \quad (1.5)$$

Для спрощення будемо вважати, що вся теплота від гріючого агента витрачається на нагрівання розчину, тому можна записати наступне:

$$DI_z = k \cdot F(t_n - t_p), \quad (1.6)$$

де  $t_n$  – температура гріючої пари;

$t_p$  – температура кипіння розчину;

$F$  – площа поверхні теплопередачі;

$k$  – коефіцієнт теплопровідності стінки.

Враховуючи (1.6), запишемо систему балансів для випарного апарату.

$$\begin{cases} G_{ex} \cdot x_1 - (G_{ex} - W) \cdot x_2 = V \cdot \rho \cdot \frac{dx_2}{dt} \\ G_{ex} \cdot c_{ex} \cdot t_{ex} - (G_{ex} - W) \cdot c_{ex} \cdot t_{ex} - W \cdot I + k \cdot F(t_n - t_p) = 0 \end{cases} \quad (1.7)$$

З другого рівняння системи (1.7) виразимо  $W$  і підставимо в перше. В цьому випадку одержимо математичну модель динаміки випарного апарату, яка пов'язує всі вхідні змінні (канали) з вихідною:

$$G_{ex} \cdot x_1 - \left( G_{ex} + \frac{k \cdot F(t_n - t_p)}{c_{ex} \cdot t_{ex} - I} \right) \cdot x_2 = V \cdot \rho \cdot \frac{dx_2}{dt} \quad (1.8)$$

Для одержання передатних функцій по каналу керування і збурення, необхідно виконати лінеаризацію даного рівняння і перетворення Лапласа.

### Хід роботи

1. Ознайомитися з об'єктом дослідження.
2. Розглянути етапи побудови математичної моделі.
3. Отримати передатні функції об'єкту по каналу керування і збурення, використовуючи значення параметрів технологічного процесу згідно свого варіанту.

4. Побудувати перехідні характеристики об'єкту по каналу керування і збурення.
5. Розглянути стійкість об'єкту керування.

### Контрольні запитання

1. Методи отримання математичних моделей об'єкта.
2. Область застосування аналітичного підходу отримання математичної моделі об'єкту.
3. Рівняння динаміки та методи розв'язання диференціальних рівнянь.
4. Перетворення Лапласа.
5. Характеристики об'єкту керування.
6. Визначення каналів керування та збурення.

### Приклад виконання

$$G_{beg} := 11.12$$

$$X_{beg} := 5$$

$$X_{end} := 6.8$$

$$G_{end} := \frac{G_{beg} \cdot X_{beg}}{X_{end}}$$

$$G_{end} = 8.176$$

$$W := G_{beg} - G_{end}$$

$$W = 2.944$$

$$T_{pary} := 140.6$$

$$T_{rozch} := 146.74$$

$$C_{rozch} := 3771$$

$$k := 2022$$

$$I := 2596 \cdot 10^3$$

$$\rho := 139\%$$

$$d := 2.4$$

$$H := 2.5$$

$$F := 160$$

$$V := \frac{H \cdot d^2 \cdot \pi}{4}$$

$$k_1 := G_{beg} + \frac{k \cdot F \cdot (T_{pary} - T_{rozch})}{C_{rozch} \cdot T_{rozch} - I}$$

$$k_3 := -\frac{X_{end} \cdot k \cdot F}{C_{rozch} \cdot T_{rozch} - I}$$

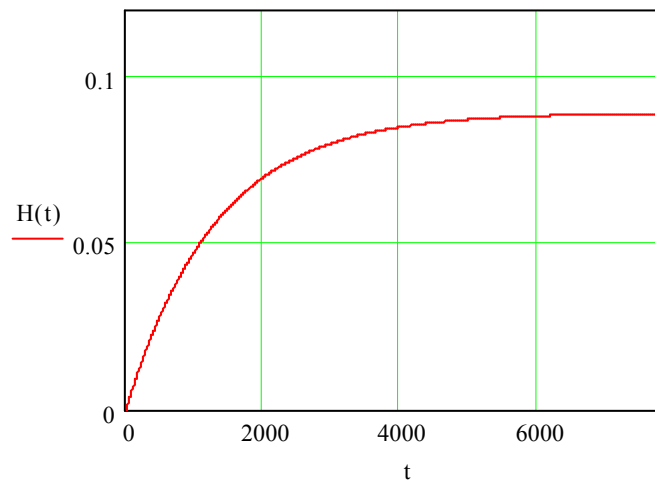


$$T := \frac{V \cdot \rho}{k1} \qquad T = 1.308 \times 10^3$$

$$k_o := \frac{k3}{k1} \qquad k_o = 0.089$$

$$W_o(p) := \frac{k_o}{T \cdot p + 1}$$

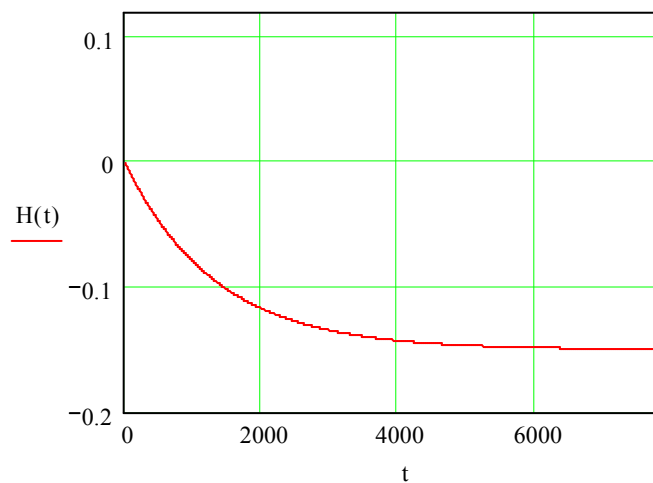
$$H(t) := \frac{W_o(p)}{p} \left\{ \begin{array}{l} \text{invlaplace, p} \\ \text{simplify} \\ \text{float, 2} \end{array} \right. \rightarrow -8.9 \cdot 10^{-2} \cdot \exp(-7.6 \cdot 10^{-4} \cdot t) + 8.9 \cdot 10^{-2}$$



$$k_z := \frac{X_{\text{beg}} - X_{\text{end}}}{k1} \qquad k_z = -0.149$$

$$W_zb(p) := \frac{k_z}{T \cdot p + 1}$$

$$H(t) := \frac{W_zb(p)}{p} \left\{ \begin{array}{l} \text{invlaplace, p} \\ \text{simplify} \\ \text{float, 2} \end{array} \right. \rightarrow .15 \cdot \exp(-7.6 \cdot 10^{-4} \cdot t) - .15$$



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

### ДОСЛІДЖЕННЯ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА МЕТОДОМ ПЕРЕХІДНОГО РЕЖИМУ

**Мета роботи** – вивчити метод перехідного режиму для спрощеної настройки регулятора

#### Теоретичні відомості

У практичній діяльності для налагодження систем регулювання, як правило, використовують наближені методи розрахунку параметрів регулятора. Такий підхід дозволяє досить швидко, без проведення складних попередніх досліджень розв'язати задачу вибору властивостей регулятора згідно до прийнятого критерію керування та в залежності від властивостей ОК. Для наближеної оцінки динамічних властивостей використовують спрощені математичні моделі ОК у вигляді передаточних функцій.

Отримано та використовується багато евристичних правил щодо настройки параметрів регулятора: один із них - метод перехідного режиму. Згідно даного методу параметри настройки регулятора визначаються із величин, що характеризують ОК. Широко використовуються формули табл.2.1, розроблені Московським теплотехнічним інститутом (МТІ), які експериментально перевірені на системах регулювання, що складаються із моделі ОК (об'єкт першого порядку із запізнюванням) і електронного регулятора. Як критерій параметричної оптимізації у формулах МТІ прийнятий ступінь загасання перехідного процесу  $\Psi = 0.75$  і інтегральна квадратична оцінка якості, що наближається до мінімуму.

Таблиця 2.1. Оптимальні значення параметрів настройки регуляторів для ОК першого порядку із запізнюванням за рекомендацією МТІ

Закон регулювання	Параметри настройки	Відносне запізнювання ОК		
		$\frac{\tau_{об}}{T_{об}} < 0.2$	$0.2 < \frac{\tau_{об}}{T_{об}} < 1.5$	$\frac{\tau_{об}}{T_{об}} > 1.5$
П	$K_P$	$\frac{1}{K_{об}\tau_{об}}$	$\frac{\tau_{об}/T_{об} + 0.7}{2.6K_{об}(\tau_{об}/T_{об} - 0.08)}$	$\frac{1}{2K_{об}}$
	$T_I$	$3.3\tau_{об}$	$\frac{0.8T_{об}}{\tau_{об}}$	$0.6\tau_{об}$
ПД	$K_P$	$\frac{1}{1.1K_{об}\tau_{об}}$	$\frac{\tau_{об}/T_{об} + 0.6}{2.6K_{об}(\tau_{об}/T_{об} - 0.08)}$	$\frac{1}{2K_{об}}$
	$T_I$	$2.5\tau_{об}$	$T_{об}$	$0.7\tau_{об}$
	$T_D^*$	$0.15T_I$	$0.15T_I$	$0.15T_I$

Примітка:  $T_D^*$  - рекомендації відносяться до регуляторів із значною схематичною залежністю між  $T_I$  та  $T_D$

Як видно із табл.2.1, структура формул для розрахунку параметрів настройки регуляторів змінюється в залежності від значення відносного запізнювання  $\tau_{об}/T_{об}$ , причому під ОК із  $\tau_{об}/T_{об} = 0 \dots 0.2$  розуміють об'єкти із незначним самовирівнюванням або без самовирівнювання ( $T_{об} = \infty$ ).

Для отримання високої якості регулювання при настройці електронних ПД-регуляторів слід вибрати значення постійної диференціювання  $T_D$  таким чином, щоб виконувалося співвідношення:  $T_D/T_I = 0.15$ . Даний взаємозв'язок не дозволяє розглядати  $T_D$  як самостійний параметр настройки.

Наступні залежності для розрахунку настройок регуляторів отримані із урахуванням експериментальних даних при автоматизації металургійних процесів. Розрахункові формули представлені у табл. 2.2, де в якості умов мінімізації прийняті критерії:

- час регулювання при відсутності перерегулювання;
- час перехідного процесу із 20% перерегулюванням;
- квадратичної інтегральної помилки між завданням та дійсним значенням регульованої величини.

### Хід роботи

1. Вхідними даними для виконання роботи є передаточні функції ОК за каналом регулювання

$$W_{об}^1(p) = \frac{K_{об}^1}{T_{об}^1 p + 1} e^{-p\tau_{об}^1}, \quad W_{об}^2(p) = \frac{K_{об}^2}{T_{об}^2 p + 1} e^{-p\tau_{об}^2}.$$

2. Розрахувати параметри настройок П-, ПІ-, ПІД-регуляторів згідно формулам із табл.2.1. та табл.2.2 (у табл.2.2 за критерій оптимального регулювання прийняти перехідний процес із 20%-им перерегулюванням) для  $W_{об}^1(p)$ ,  $W_{об}^2(p)$ . Результати розрахунків записати у таблицю:

ОК	Розрахунок за таблицею 2.1.						Розрахунок за таблицею 2.2.					
	П		ПІ		ПІД		П		ПІ		ПІД	
	К <sub>Р</sub>	Т <sub>І</sub>	К <sub>Р</sub>	Т <sub>І</sub>	К <sub>Р</sub>	Т <sub>І</sub>	Т <sub>Д</sub>	К <sub>Р</sub>	Т <sub>І</sub>	К <sub>Р</sub>	Т <sub>І</sub>	Т <sub>Д</sub>
$W_{об}^1(p)$												
$W_{об}^2(p)$												

Таблиця 2.2. Оптимальні значення параметрів настройки регуляторів для ОК першого порядку із запізнюванням.

Закон регулювання	Параметри настройки	Оптимальний перехідний процес					
		Аперіодичний		Із 20%-им перерегулюванням		Із мінімальною інтегральною оцінкою	
		Статичний ОК	Астатичний ОК	Статичний ОК	Астатичний ОК	Статичний ОК	Астатичний ОК
I	$K_P$	$\frac{1}{4.5K_{об}\tau_{об}}$	-	$\frac{1}{1.7K_{об}T_{об}}$	-	$\frac{1}{1.7K_{об}T_{об}}$	-
II	$K_P$	$\frac{0.3T_{об}}{K_{об}\tau_{об}}$	$\frac{0.4}{K_{об}\tau_{об}}$	$\frac{0.7T_{об}}{K_{об}\tau_{об}}$	$\frac{0.7}{K_{об}\tau_{об}}$	$\frac{0.9T_{об}^*}{K_{об}\tau_{об}}$	-
III	$K_P$	$\frac{0.6T_{об}}{K_{об}\tau_{об}}$	$\frac{0.4}{K_{об}\tau_{об}}$	$\frac{0.7T_{об}}{K_{об}\tau_{об}}$	$\frac{0.7}{K_{об}\tau_{об}}$	$\frac{T_{об}}{K_{об}\tau_{об}}$	$\frac{1}{K_{об}\tau_{об}}$
	$T_I$	$0.6T_{об}$	$6\tau_{об}$	$0.7T_{об}$	$3\tau_{об}$	$T_{об}$	$4\tau_{об}$
PID	$K_P$	$\frac{0.95T_{об}}{K_{об}\tau_{об}}$	$\frac{0.6}{K_{об}\tau_{об}}$	$\frac{1.2T_{об}}{K_{об}\tau_{об}}$	$\frac{1.1}{K_{об}\tau_{об}}$	$\frac{1.4T_{об}}{K_{об}\tau_{об}}$	$\frac{1.4}{K_{об}\tau_{об}}$
	$T_I$	$2.4\tau_{об}$	$5\tau_{об}$	$2\tau_{об}$	$2\tau_{об}$	$1.3\tau_{об}$	$1.6\tau_{об}$
	$T_D$	$0.4\tau_{об}$	$0.2\tau_{об}$	$0.4\tau_{об}$	$0.4\tau_{об}$	$0.5\tau_{об}$	$0.5\tau_{об}$

Примітка: \* - рекомендації для П-регулятора із 40%-им перерегулюванням в системі керуванням

3. Розрахувати перехідні процеси у системі регулювання із передаточними функціями  $W_{об}^1(p)$ ,  $W_{об}^2(p)$  та П-, ПІ-, ПІД-регуляторами. Отримати чотири серії графіків перехідних процесів у системах регулювання. Кожна серія повинна містити графіки перехідних процесів у системі керування, що складається із ОК (  $W_{об}^1$  або  $W_{об}^2$  ) та відповідно настроєних П-, ПІ-, ПІД-регуляторів двома методами (див. п.2)
4. Із отриманих серій перехідних процесів визначити оптимальний перехідний процес за мінімальним часом перехідного процесу. Побудувати серію перехідних процесів для системи регулювання, що складається: із оптимального регулятора, а в якості об'єкта використати ОК із передаточними функціями  $W_{об}^1(p)$ ,  $W_{об}^2(p)$ .

### **Оформлення звіту**

Звіт повинен містити теоретичні відомості, розрахунки параметрів регуляторів, графіки перехідних процесів у системі керування згідно п.3,4 ходу роботи, висновки.

### **Контрольні запитання**

1. Які критерії якості регулювання Ви знаєте і як вони визначаються?
2. Що таке астатичний ОК?
3. Запишіть у загальному вигляді математичний опис П-, ПІ-, ПІД-регуляторів.
4. Що таке оптимальний регулятор?
5. Як у Mathcad задається транспортне запізнювання?

## Література

1. К. Остром, Б. Виттенмарк Системы управления с ЭВМ: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. –480с., ил.
2. Остапенко Ю.О. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування: Підручник для студентів вищих закладів освіти, що навчаються за напрямом «Автоматизація та компютерно-інтегровані технології». – К.: Задруга, 1999. – 424 с.: Іл.
3. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Линейные системы: учеб. пособие / Д. П. Ким. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – Т.2. - 288 с

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

### ДОСЛІДЖЕННЯ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА МЕТОДОМ ЦІГЛЕРА-НІКОЛЬСА

**Мета роботи** – вивчити та дослідити метод Ціглера-Нікольса для спрощеної настройки регулятора.

#### Теоретичні відомості

Згідно даного методу замкнену систему керування із П-регулятором виводять на границю стійкості поступово збільшуючи коефіцієнт підсилення регулятора  $K_p$ . Для отриманого коливного режиму визначають критичне значення коефіцієнта підсилення регулятора  $K_{кр}$  та критичний період коливань  $T_{кр}$ , що встановився. За визначеними параметрами  $K_{кр}$  та  $T_{кр}$  розраховують оптимальні параметри настройки регулятора користуючись залежностями:

$$\text{- для П-регулятора: } K_{\text{опт}} = 0.55 K_{\text{кр}} \quad (3.1)$$

$$\text{- для ПІ-регулятора: } K_{\text{опт}} = 0.35 K_{\text{кр}}, \quad T_{\text{I,опт}} = 1.25 T_{\text{кр}}. \quad (3.2)$$

Метод Ціглера-Нікольса досить простий для розрахунку, дозволяє забезпечити у системі керування необхідний запас стійкості, але не гарантує екстремального значення інтегрального критерію якості.

#### Хід роботи.

1. Вхідними даними для виконання лабораторної роботи є математична модель ОК за каналом регулювання згідно варіанту бригади.
2. Розрахувати параметри настройок регуляторів для систем керування із П та ПІ-регуляторів методом Ціглера-Нікольса



3. Розрахувати перехідні процеси у системі регулювання із П- та ІІІ-регуляторами за каналом регулювання та збурення.

### **Оформлення звіту**

Звіт повинен містити теоретичні відомості, розрахунки параметрів налаштувань регуляторів П- та ІІІ-регуляторів, графіки перехідних процесів за каналом регулювання та збурення для системи керування із П та ІІІ-регулятором, висновки.

### **Контрольні запитання**

1. Що таке замкнена і розімкнена системи керування (зобразити схематично) ?
2. Які недоліки методу Ціглера Нікольса?
3. Як вивести систему на границю стійкості?
4. Що таке коливний режим системи?
5. Що таке одноконтурна система керування?

### **Література**

1. К. Острем, Б. Виттенмарк Системы управления с ЭВМ: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. –480с., ил.
2. Остапенко Ю.О. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування: Підручник для студентів вищих закладів освіти, що навчаються за напрямом «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – К.: Задруга, 1999. – 424 с.: Іл.
3. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Линейные системы: учеб. пособие / Д. П. Ким. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – Т.2. - 288 с

## Приклад виконання

$$T1 := 20$$

$$K1 := 0.2$$

$$Kreg\_nast := 11.457$$

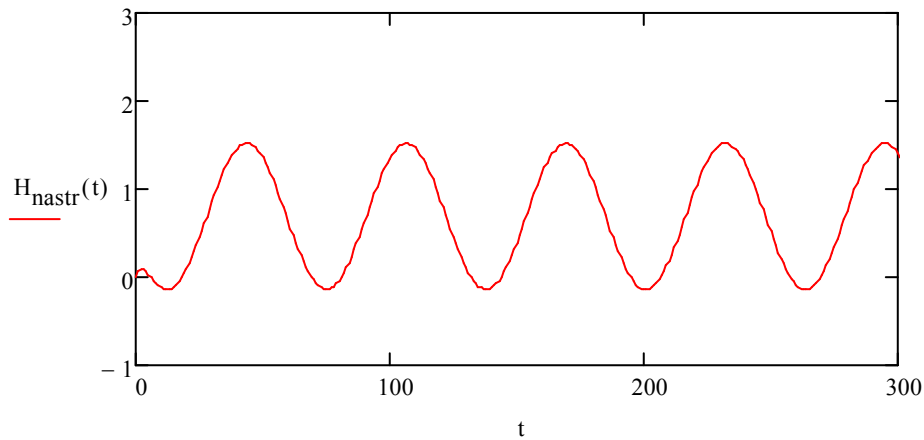
$$Wob\_ (p) := \frac{K1}{T1 \cdot p + 1} \qquad Wzap(p) := \frac{p^2 - \frac{6}{T1} \cdot p + \frac{12}{T1^2}}{p^2 + \frac{6}{T1} \cdot p + \frac{12}{T1^2}} \qquad Wob(p) := Wzap(p) \cdot Wob\_ (p)$$

$$W_{regNast} := Kreg\_nast$$

$$WzsNast(p) := \frac{Wob(p) \cdot W_{regNast}}{1 + Wob(p) \cdot W_{regNast}}$$

$$H_{nastr}(t) := \frac{WzsNast(p)}{p} \Bigg|_{\substack{\text{invlaplace, } p \\ \text{float, } 2}} \rightarrow -0.28 \cos(0.1 \cdot t) + -0.78 \sin(0.1 \cdot t) + -0.42 e^{-0.46 \cdot t} + \dots$$

$$t := 0..1000$$



$$Tikr := 60$$

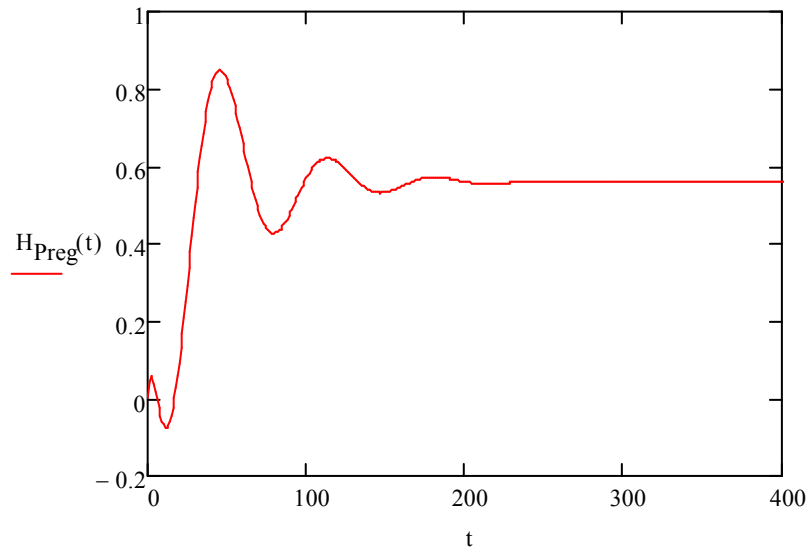
$$Kreg\_p := 0.55 Kreg\_nast$$

$$Kreg\_pi := 0.35 Kreg\_nast \qquad Ti\_opt := 1.25 Tikr$$

$$W_{regP} := Kreg\_p$$

$$W_{zsP}(p) := \frac{Wob(p) \cdot W_{regP}}{1 + Wob(p) \cdot W_{regP}}$$

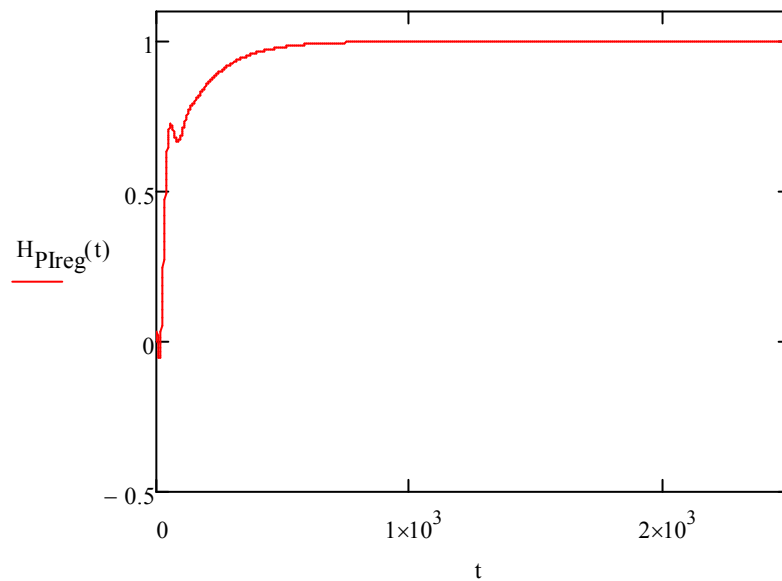
$$H_{\text{Preg}}(t) := \frac{W_{\text{zsP}}(p)}{p} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, p} \\ \text{float, 2} \end{array} \right. \rightarrow -0.37e^{-0.37 \cdot t} + -0.19 \cos(0.093t) \cdot e^{-0.023 \cdot t} + -0.83 \sin(0.093t) \cdot e^{-0.023 \cdot t} + \dots$$



$$W_{\text{regPI}}(p) := K_{\text{reg\_pi}} \cdot \left( 1 + \frac{1}{T_{i\_opt} \cdot p} \right)$$

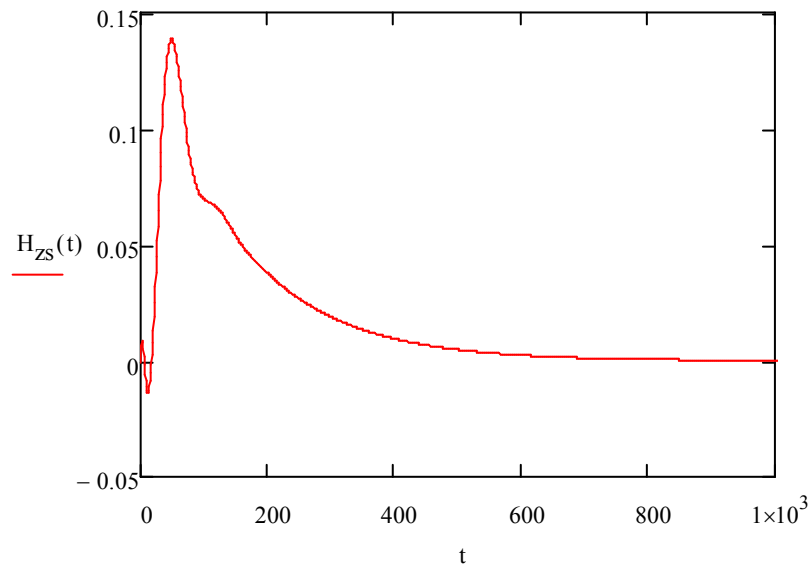
$$W_{\text{zsPI}}(p) := \frac{W_{ob}(p) \cdot W_{\text{regPI}}(p)}{1 + W_{ob}(p) \cdot W_{\text{regPI}}(p)}$$

$$H_{\text{PIreg}}(t) := \frac{W_{\text{zsPI}}(p)}{p} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, p} \\ \text{float, 2} \end{array} \right. \rightarrow -0.57e^{-0.0069 \cdot t} + -0.35e^{-0.31 \cdot t} + -0.083 \cos(0.078t) \cdot e^{-0.038 \cdot t}$$



$$W_{zs}(p) := \frac{Wob(p)}{1 + Wob(p) \cdot W_{regPI}(p)}$$

$$H_{zs}(t) := \frac{W_{zs}(p)}{p} \Bigg|_{\substack{\text{invlaplace, } p \\ \text{float, 2}}} \rightarrow 0.15e^{-0.0069 \cdot t} + -0.092e^{-0.31 \cdot t} + -0.059 \cos(0.078t) \cdot e^{-0.1 \cdot t}$$



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

### ДОСЛІДЖЕННЯ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ІТЕРАТИВНИМ МЕТОДОМ

**Мета роботи** – ознайомитися та дослідити експериментально-ітеративний метод настройки регулятора.

#### Теоретичні відомості

Сутність методу ґрунтується на взаємозв'язку між формою перехідних процесів при різних настройках регулятора у системі керування та відповідним розташуванням точок у площині параметрів настройки ПІ-регулятора. В площині параметрів настройки ПІ-регулятора існують лінії постійного затухання  $\psi$  перехідних процесів рис.4.1, *а*. З рис.4.1, *а* видно, що одну і ту саму ступінь коливності  $\psi$  можна отримати за різного співвідношення параметрів настройки регулятора. Проте інші показники якості регулювання - максимальне динамічне відхилення, тривалість перехідного процесу, площа під кривою перехідного процесу будуть різними. На рис.4.1, *б* показано наближений вигляд перехідних процесів для різних точок лінії постійного затухання  $\psi = 0,75$ . Якщо у площині параметрів ПІ-регулятора для заданого  $\psi$  побудувати інтегральну криву  $I$  оцінки якості, то вона буде мати вигляд зображений на рис.4.1. *в*.

Таким чином, якщо шляхом зміни настройки регулятора переміщуватися із ліва на право вздовж лінії постійного рівня затухання, то якість перехідного процесу буде покращуватися, поки не досягнуто екстремуму  $I=I_{\text{мін}}$ . Оптимальним настройкам регулятора відповідає перехідний процес 3, який характеризується точкою 3 на рис.4.1. *а*.

Оптимальність перехідного процесу 3 підтверджується мінімальним значенням інтегрального квадратичного критерію якості ( $I=I_{\text{мин}}$ ) в області точки 3 (рис.4.1. в). Слід відмітити, що точка 3 ділить лінію постійного затухання на дві гілки. Ліва частина, на якій знаходяться точки 1 і 2 являється низькочастотною. Перехідні процеси в даній області характеризуються великим періодом коливань, динамічною помилкою і площею під кривою перехідного процесу. Права гілка (точка 4) являється високочастотною. Перехідний процес в точці 4 характеризується наявністю аперіодичної складової.

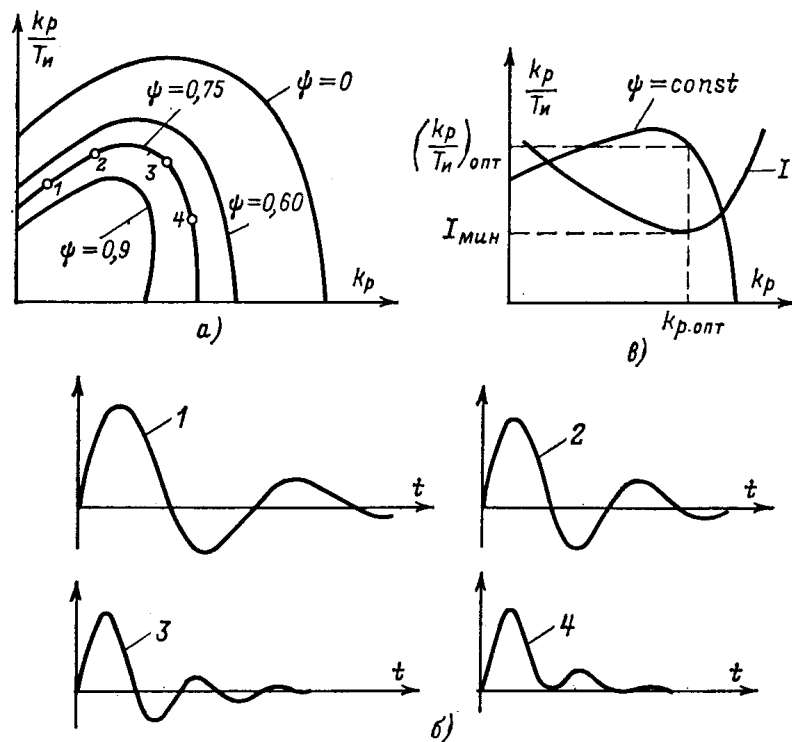


Рис.4.1. Лінії постійного затухання в площині параметрів ПІ-регулятора (а); графіки перехідних процесів, що відповідають точкам 1 - 4 (б); криві ступеню затухання і квадратичних відхилень  $I$  регулюємої величини (в)

Настройка параметрів ПІ-регулятора, використовуючи даний метод складається із трьох етапів рис.4.2.

1. Вихід на високочастотну гілку лінії рівного затухання. Спочатку встановлюють завищене значення  $T_{\text{и}}$  та довільне значення  $K_{\text{р}}$ . При цьому

система керування може опинитися у зоні аперіодичності (точка 1) або в зоні коливальності (точка 2). Далі при незмінному  $T_{и}$  необхідно впливом на  $K_{р}$  домогтися, щоб у перехідному процесі крім аперіодичної складової з'явилася коливна складова, що затухає. На цьому етапі рекомендується виходити в область  $\psi = 0,8...0,9$  (точка 3), так як високочастотні гілки цих ліній практично перпендикулярні осі  $K_{р}$ .

2. Усунення аперіодичної складової. Для усунення аперіодичної складової необхідно здійснити переміщення вздовж лінії постійного затухання в напрямку точки 4. При незмінному  $K_{р}$  поступово зменшують  $T_{и}$  та визначають положення за якого зникає аперіодична складова в перехідному процесі (точка 5). Знайдене значення  $T_{и}$  буде оптимальним. Якщо при зменшені  $T_{и}$  крім зникнення аперіодичної складової зменшиться коливна складова, це свідчить, що оптимальне значення  $T_{и}$  вже пройдено.

3. Уточнення ступеню затухання. На цьому етапі рух необхідно здійснювати вздовж лінії  $T_{и,опт}$  при незмінному  $T_{и}$ . Впливом на  $K_{р}$  досягають необхідного ступеню затухання (точка 6).

При використанні описаного методу немає необхідності визначати динамічні параметри об'єкта керування і градувати регулятор. Проте даний метод непридатний для мало інерційних систем керування.

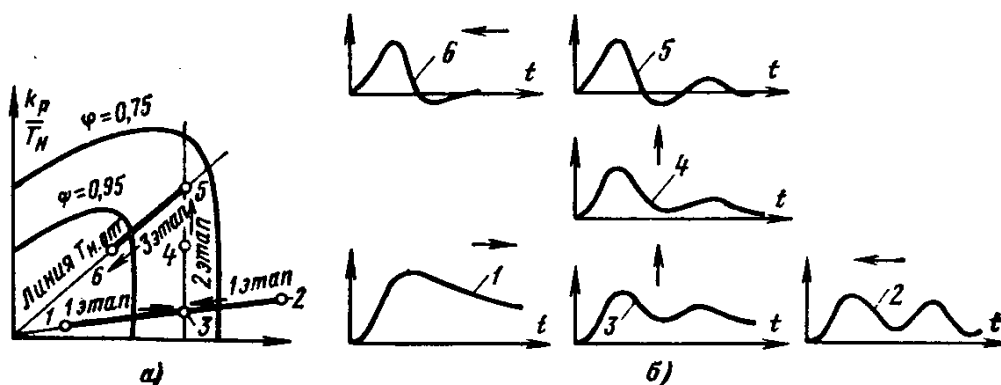


Рис.4.2. Етапи настройки системи керування з ПІ-регулятором експериментально-ітеративним методом

## **Хід роботи**

1. Вхідними даними для виконання лабораторної роботи є математична модель ОК за каналом регулювання згідно варіанту бригади.
2. Розрахувати параметри настройок ПІ-регулятора експериментально-ітеративним методом, що забезпечує у системі керування ступень коливальності  $\psi = 0,4$ .

## **Оформлення звіту**

Звіт повинен містити теоретичні відомості, розрахунки параметрів настройок ПІ-регулятора, графіки перехідних процесів відповідно до рис. 4.2, висновки.

## **Контрольні запитання**

1. Опишіть алгоритм використання даного методу.
2. Для чого використовується інтегральний квадратичний критерій якості?
3. Що таке ступінь коливності  $\psi$ , як його визначити?
4. Що таке аперіодична складова?
5. Що таке коливна складова?

## **Література**

1. К. Острем, Б. Виттенмарк Системы управления с ЭВМ: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. –480с., ил.
2. Остапенко Ю.О. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування: Підручник для студентів вищих закладів освіти, що навчаються за напрямом «Автоматизація та компютерно-інтегровані технології». – К.: Задруга, 1999. – 424 с.: Іл.