

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ  
УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

**Автоматизація технологічних процесів галузі - 1**  
**Автоматизація типових технологічних процесів**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять для студентів напряму підготовки  
„Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”

*Рекомендовано Вченою радою інженерно-хімічного факультету*

Київ  
НТУУ “КПІ”  
2012

Автоматизація технологічних процесів галузі - 1. Автоматизація типових технологічних процесів : Метод. вказівки до практичних занять для студ. напр. „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології” / Уклад.: В.О. Самсонов, В.С. Цапар, Д.О. Ковалюк. – К. : НТУУ ”КПІ”, 2012. – 31 с.

*Гриф надано Вченою радою ІХФ  
(Протокол №6 від 30 травня 2012р.)*

Навчальне видання

## Автоматизація технологічних процесів галузі - 1

### Автоматизація типових технологічних процесів

Методичні вказівки до практичних занять 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 Степанюк Андрій Романович, канд. техн. наук, доц.

Авторська редакція

## Зміст

ВСТУП .....	4
Практичне заняття №1 .....	5
Практичне заняття №2 .....	8
Практичне заняття №3 .....	10
Практичне заняття №4 .....	18
Практичне заняття №5 .....	22
Практичне заняття №6 .....	24
Практичне заняття №7 .....	27
Список літератури .....	31

## ВСТУП

В даний час відбувається швидкий розвиток виробництва і застосування автоматичних машин і апаратів, збільшення кількості виробничих процесів, що ведуться без участі людини. Різні автоматичні пристрої проникають в усі сфери людської діяльності, включаючи науку, виробництво і побут.

Основою автоматизації виробництва є технологічні процеси (ТП), які повинні забезпечувати високу продуктивність, надійність, якість і ефективність виготовлення виробів. Цілі автоматизації реалізуються за допомогою автоматизованих систем регулювання (АСР).

Отже виникає необхідність у вивченні розділу « Автоматизація технологічних процесів галузі». Методичні вказівки присвячені питанням даного розділу.

Мета методичних вказівок – допомогти студентам освоїти розділи і застосувати знання на прикладах, представлених у формалізованому вигляді.

Засвоєння матеріалу методичних вказівок буде сприяти підвищенню професійної підготовки майбутніх фахівців з автоматизації.

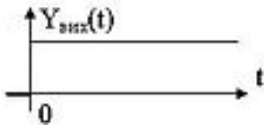
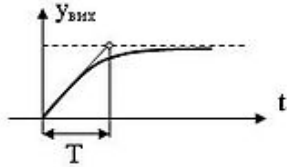
## Практичне заняття №1

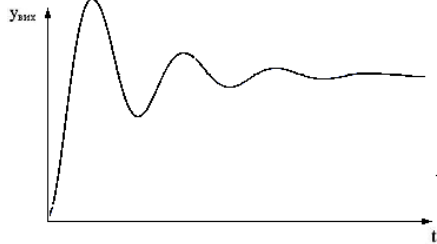
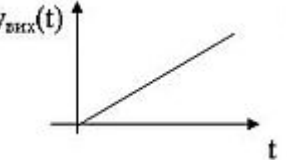
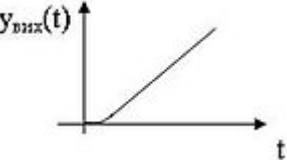
Типові динамічні ланки

Мета: Згадати основні типові динамічні ланки.

На таблиці 1 представлена скорочена таблиця типових динамічних ланок.

Таблиця 1.

Назва ланки	Диф.Рівняння	Перехідна характеристика		Примітки
		Аналітичний вид	Графічний вид	
1. Пропорційна ланка	$y(t) = K \cdot x(t)$	$h(t) = K \cdot 1(t)$		
2. Аперіодична ланка першого порядку	$T \cdot \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K \cdot x(t)$	$h(t) = K \cdot (1 - \exp(-\frac{t}{T}))$		

<p>3. Аперіодична ланка другого та більш високих порядків</p>	$T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot \dots \cdot T_n \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + (T_1 + T_2 + T_3$	$h(t) = K \cdot \left( 1 + \frac{T_1}{T_n - T_1} \exp\left(\frac{-t}{T_1}\right) - \dots \right)$		
<p>4. Інтегральна ланка</p>	$y(t) = \frac{1}{T} \cdot \int_0^t x(\tau) d\tau$	$h(t) = K \cdot t \cdot 1(t)$		
<p>5. Інтегральна ланка із запізненням</p>	$y(t) = \frac{1}{T} \cdot \int_0^{t-\tau_{зап}} x(\tau) d\tau$	$h(t) = K \cdot t \cdot 1(t - \tau_{зап})$		

Запитання для контролю:

1. Навести аналітичний вигляд аперіодичної ланки другого порядку.
2. Намалювати зображення аперіодичної ланки першого порядку при  $T_1 > T_2 > T_3$ .
3. Що таке перехідна характеристика?
4. Поясніть значення коефіцієнтів  $K$  і  $T$ .
5. Які ще ланки, крім наведених, ви знаєте?

## Практичне заняття №2

### Приклади типових ланок

Мета: розглянути приклади реальних об'єктів котрі описуються типовими ланками.

Пропорційна ланка являється математично ідеалізацією, оскільки всі реальні елементи АСУ мають інерційність. Пропорційною ланкою можна представити, наприклад, широко використовувані в АСУ датчики (термопари, термометри опору, потенціометричні датчики, , тахогенератори та ін.), механічні перетворювачі (важелі, редуктори та ін.), операційні, електронні, напівпровідникові підсилювачі і т.д. В той самий час об'єкти управління, електричні двигуни, генератори та ін. мають значну інерційність, отже мають описуватись інерційними ланками.

Аперіодична ланка описує собою процеси накопичення та розсіювання енергії. В технічних приладах ці процеси обумовлені накопичуванням та передачею (розсіюванням) енергії чи речовини. В електричних елементах накопичувачем енергії електричного поля слугує конденсатор, а накопичувачем магнітного поля – індуктивність. В механічних елементах потенціальна енергія накопичується в пружинах та інших пружних елементах, а кінетична – в рухомих масах.

Елементи, що використовуються та описуються аперіодичною ланкою другого порядку в автоматичних пристроях: двигун постійного струму з навантаженням на валу, електромашинний підсилювач та у схемах чотирьохполюсників.

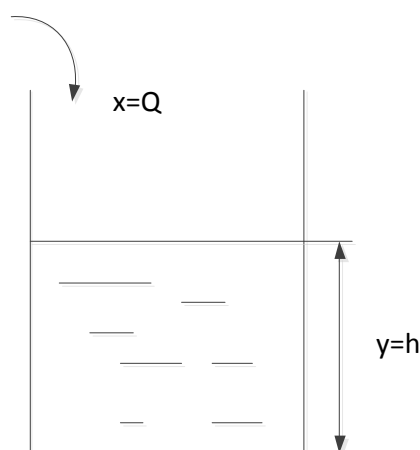


Щодо інтегральної ланки, то можна сказати що дана ланка є ідеалізованою, однак всі елементи якими можна описати цю ланку мають певну інерційність, яку в певних випадках потрібно враховувати. Це здійснюється послідовним з'єднанням ідеальної ланки та аперіодичної ланки 1-го порядку. При цьому для отримання результуючої передатної функції передатні функції цих ланок треба перемножити.

В інтегральній ланці не може бути статичного режиму тому що ланка також називається астатичною і вона включається в систему автоматичного керування для підвищення точності. Також при знятті вхідного сигналу вихідна величина залишається незмінною, завдяки чому вона може використовуватися в якості елемента пам'яті.

Прикладом елемента, який описується інтегральною ланкою може служити: -- електричний двигун, вихідним сигналом якого є кут повороту вала;

Прикладом елемента, який описується інтегральною ланкою із запізненням може бути розглянутий гідравлічний резервуар із незмінним поперечним перерізом (рис 1). Поясніть чому.



**Рис 1.** Гідравлічний резервуар із незмінним поперечним перерізом

Запитання для контролю:

1. Поясніть чому редуктор можна описати пропорційною ланкою.
2. Які частини рівняння аперіодичної ланки першого порядку відповідають накопиченню та розсіюванню.
3. Наведіть приклад ланки транспортного запізнення.

### Практичне заняття №3

#### Приклади типових задач

Мета: навчитись розв'язувати типові задачі

#### Задача 1.

Стала часу манометричного термометра при вимірюванні температури газового потоку дорівнює 6 хв.

Напишіть диференціальне рівняння манометричного термометра. Користуючись перетворенням Лапласа, знайдіть динамічну похибку манометричного термометра через 6 хв. після ступінчатої зміни температури газового потоку від 20 °С до 100 °С.

#### Розв'язання:

Вважаючи, що по своїм динамічним властивостям манометричний термометр відповідає статичній ланці першого порядку, запишемо його диференціальне рівняння у вигляді:

$$6 \frac{d\theta}{dt} + \theta = t,$$

де  $\theta$  – показання термометра, а  $t$  – вимірювана температура.

Будемо вважати, що статичною похибкою термометра можна знехтувати і що термометр знаходиться в тепловій рівновазі з вимірюваним середовищем до зміни його температури:

$$\theta = t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Щоб перейти до нульових початкових умов, приймемо за початок відліку температуру  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , введемо нові змінні у вигляді відхилень параметрів від початкових значень:

$$\Delta t = t - 20$$

$$\Delta\theta = \theta - 20$$

і перепишемо диференціальне рівняння манометричного термометра, використовуючи введені змінні:

$$6 \frac{d(20 + \Delta\theta)}{d\tau} + (20 + \Delta\theta) = (20 + \Delta t).$$

Після простих перетворень отримаємо зведене до нульових початкових умов рівняння манометричного термометра у відхиленнях параметрів від початкових значень:

$$6 \frac{d\Delta\theta}{d\tau} + \Delta\theta = \Delta t.$$

Передатна функція манометричного термометра:

$$W(s) = \frac{L(\Delta\theta)}{L(\Delta t)} = \frac{1}{6s + 1}.$$

Для ступінчатої зміни температури на  $\Delta t$ :

$$L[\Delta\theta(\tau)] = W(s)L[\Delta t \cdot 1(\tau)] = \frac{1}{6s+1} \frac{\Delta t}{s},$$

звідки, виконавши зворотне перетворення Лапласа, знайдемо зміну показів термометра в часі:

$$\Delta\theta(\tau) = L^{-1}\left[\frac{1}{6s+1} \frac{\Delta t}{s}\right] = \Delta t \left(1 - e^{-\frac{\tau}{6}}\right).$$

Через 6 хв. після ступінчатої зміни температури від 20 °С до 100 °С зміна показів термометра буде наступна:

$$\Delta\theta(\tau) = (100 - 20) \left(1 - e^{-\frac{6}{6}}\right) = 80 \cdot 0,632 = 50,6 \text{ °С}.$$

Покази манометричного термометра через 6 хв:

$$\theta = 20 + 50,6 = 70,6 \text{ °С}.$$

Динамічна похибка («недоход») манометричного термометра:

$$\theta - t = 70,6 - 100 = -29,4 \text{ °С}.$$

Визначте динамічну похибку манометричного термометра через  $\tau = 2T, 3T, 4T, 5T$ . Як зміниться динамічна похибка із збільшенням часу?

## Задача 2.

Отримати рівняння динаміки і передатну функцію пневматичного мембранного виконавчого механізму з регулюючим органом (рис. 2) з урахуванням сили в'язкого тертя і інерції його рухомої системи.

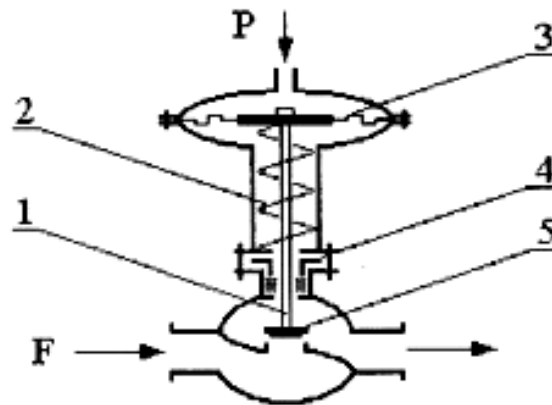


Рис. 2. Пневматичний мембранний виконавчий механізм з регулюючим органом

В простір над мембраною 3 надходить повітря під тиском  $P$ , створюючи зусилля на мембрану. Під дією цього зусилля мембрана прогинається, переміщуючи вниз шток 1 з затвором 5. Через клапан проходить рідина в кількості, залежачи від ступеня відкриття клапана. Переміщенню  $h$  штока клапана з затвором перешкоджає сила пружності пружини 2, тертя штока в сальнику 4 і затвора 5 в протікаючій рідині.

Розглянемо в якості вхідної величини пневматичного мембранного виконавчого механізму з регулюючим органом зміна тиску  $\Delta P$ , а вихідний

– переміщення  $\Delta h$  штока 1 з затвором 5 (відлік ведемо в малих приростах від стану рівноваги).

Якщо неможливо знехтувати тертям і інерцією, то рівняння рівноваги сил для рухомої системи пневматичного мембранного виконавчого механізму з регулюючим органом має вид:

$$F_{\text{и}} + F_{\text{тр}} + F_{\text{пр}} = F, \quad (1.1)$$

де  $F$  – вхідне зусилля (дорівнює добутку тиску повітря на площу мембрани);  $F_{\text{и}}$  – сила інерції (дорівнює добутку маси рухомої системи на прискорення);  $F_{\text{тр}}$  – сила в'язкого тертя (пропорційна швидкості переміщення рухомої системи);  $F_{\text{пр}}$  – сила протидії пружини (пропорційна її стисненню).

Підставивши відповідні вирази сил в рівняння в рівняння рівноваги, отримаємо диференціальне рівняння руху штока з затвором в наступному вигляді:

$$m \frac{d^2(\Delta h)}{dt^2} + r \frac{d(\Delta h)}{dt} + c\Delta h = A\Delta P, \quad (1.2)$$

де  $m$  – маса рухомих частин з урахуванням половини маси пружини;  $c$  – коефіцієнт жорсткості пружини;  $r$  – коефіцієнт тертя;  $A$  – площа мембрани.

Перепишемо рівняння, попередньо поділивши дві його частини на  $c$ :

$$\frac{m}{c} \frac{d^2(\Delta h)}{dt^2} + \frac{r}{c} \frac{d(\Delta h)}{dt} + \Delta h = \frac{A}{c} \Delta P \quad (1.3)$$

Позначивши  $\frac{m}{c} = T^2$ ,  $\frac{r}{c} = 2\zeta T$ ,  $\frac{A}{c} = K$ , отримаємо рівняння динаміки пневматичного мембранного виконавчого механізму з регулюючим органом з урахуванням сил в'язкого тертя і інерції його рухомої системи:

$$T^2 \frac{d^2(\Delta h)}{d\tau^2} + 2\zeta T \frac{d(\Delta h)}{d\tau} + \Delta h = K\Delta P \quad (1.4)$$

Для знаходження передатної функції ланки, скористаємося властивостями перетворення Лапласа (див. додаток, табл. 1, властивості 2 – 4):

$$T^2 s^2 L(\Delta h) + 2\zeta T s L(\Delta h) + L(\Delta h) = K L(\Delta P), \quad (1.5)$$

звідти випливає відношення зображення по Лапласу вихідної до вхідної величини

$$W(s) = \frac{L(\Delta h)}{L(\Delta P)} = \frac{K}{T^2 s^2 + 2\zeta T s + 1}. \quad (1.6)$$

Задача 3.

Отримати рівняння динаміки U- подібного рідинного дифманометра (рис 3), зв'язуючи показання дифманометра  $h$  з вимірюваною різницею тисків  $\Delta P = P_1 - P_2$ .

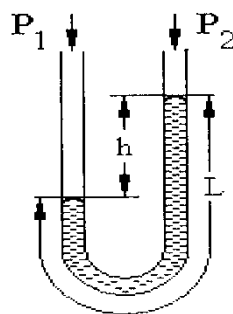


Рис.3 U- подібний рідинний дифманометр

$$F_u + F_{mp} + F_m = F,$$

де,  $F_u = \rho LA \cdot \frac{1}{2} \frac{d^2 h}{d\tau^2}$  - сила інерції ( $\rho$  – густина рідини,  $A$  – площа поперечного перерізу трубки);

$F_{mp} = \Delta P_{mp} A = \frac{32L\mu}{d^2} \cdot \frac{1}{2} \frac{dh}{d\tau} \cdot A$  - сила тертя ( $\Delta P_{mp}$  - втрати тиску на тертя, визначені за рівнянням Хагена-Пуазейля,  $\mu$  - в'язкість рідини,  $d$  – внутрішній діаметр трубки дифманометра);

$F_m = hA\rho g$  - сила тяжіння, ( $g$  – прискорення вільного падіння);

$F = A(P_1 - P_2)$  - сила, прикладена до рідини з боку вимірюваного тиску.

Підставляючи ці вирази в рівняння рівноваги сил, отримаємо

$$\frac{\rho LA d^2 h}{2 d\tau^2} + \frac{16\mu LA dh}{d^2 d\tau} + \rho ghA = A\Delta P.$$

Поділивши всі члени рівняння на  $\rho gA$ , отримаємо рівняння динаміки U-подібного рідинного дифманометра

$$\frac{L}{2g} \frac{d^2 h}{d\tau^2} + \frac{16\mu L dh}{\rho g d^2 d\tau} + h = \frac{1}{\rho g} \Delta P,$$

Яке зазвичай записують в наступному стандартному виді:

$$\frac{1}{\omega_0^2} \frac{d^2 h}{d\tau^2} + \frac{2\zeta}{\omega_0} \frac{dh}{d\tau} + h = K\Delta P,$$

де  $\omega$  – власна частота недемпфованої системи, рад/с;  $\zeta$ - коефіцієнт демпфування. Фізичний зміст  $\omega_0$  и  $\zeta$  стає ясным після аналізу розв'язка рівняння при одинично - ступінчатій зміні вхідного тиску. При коефіцієнті демпфування  $0 < \zeta < 1$  вихідний сигнал буде створювати затухаючі



коливання(рис. 4). Таку систему називають слабо демпфвану. При коефіцієнті демпфування  $\zeta=0$  (недемпфована система) вихідній сигнал представляє собою незатухаючі коливання з частотою  $\omega_0$  і амплітудою  $K$ . Якщо коефіцієнт демпфування  $\zeta=1$ , то має місце критичне демпфування і рідина в дифманометрі переходить до стану рівноваги без перерегулювання. При коефіцієнті демпфування  $\zeta > 1$  зміна рівня рідини в дифманометрі відбувається по  $S$  – подібній кривій (без коливного процесу) тим повільніше, чим більше коефіцієнт демпфування. Такі системи називають сильно демпфовані.

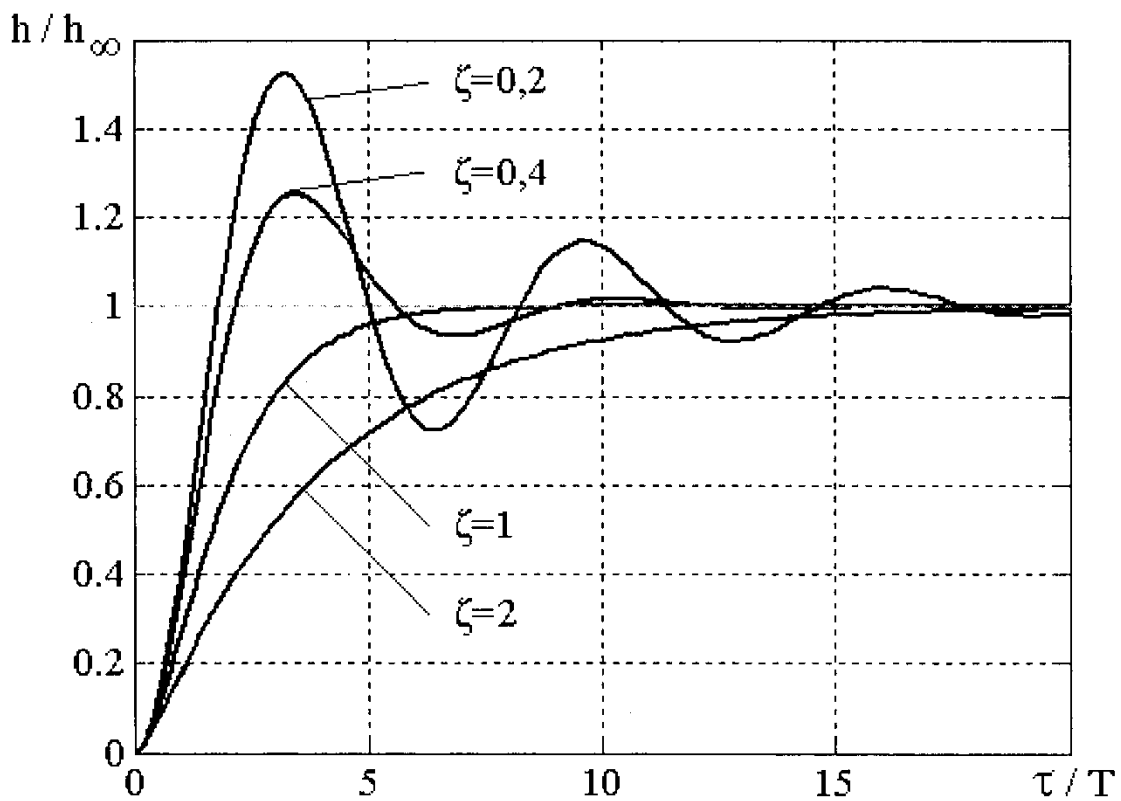


Рис.4 Коливання системи

Запитання для контролю:

1. Розв'яжіть запропоновані задачі.

## Практичне заняття №4

Експериментальні методи отримання статичних характеристик об'єктів керування

Мета: Розглянути детермінований та експериментально-статистичний методи отримання статичних характеристик

Експериментальне отримання статичних моделей та характеристик можна розділити на три основні методи:

1. Експериментальний детермінований метод.
2. Експериментально – статистичний метод.
3. Експериментально – аналітичний метод.

Експериментальний детермінований метод отримання статичних характеристик передбачає наявність детермінованого (визначеного, закономірного) зв'язку між вхідною та вихідною величинами. Цей метод направлений на визначення такого закономірного функціонального зв'язку.

Експериментальний детермінований метод є методом активного експерименту, що передбачає подачу на вхід певного збурення, тобто зміни вхідної величини. Якщо об'єкт моделювання має декілька входів та виходів, то під час проведення експерименту повинен використовуватись лиш один вхід, тобто змінювати під час визначення статичної характеристики можна лише одну вхідну величину. Інші входи об'єкта стабілізуються на рівні їх значень, що відповідають основному статичному режимі. Якщо потрібно отримати статичні характеристики зі всіма входами, то експериментальне їх визначення проводиться по черзі. Спочатку використовують один вхід, інші – стабілізуються на рівні основного статичного режиму, а змінюється інший і т.д.

Слід зупинитися ще на одній важливій особливості проведення цього експерименту. Перехід об'єкта моделювання з одного його статичного режиму на інший відбувається не зразу, а з деякою затримкою в часі – поки не закінчиться перехідний процес.

Статичні характеристики відображають відповідність значень вихідних параметрів від значень вхідних у статичних (сталих) режимах. У зв'язку з чим, для побудови статичних характеристик використовуються лише ті завдання вихідного параметра, які відповідають такому сталому режиму роботи об'єкта. Для цього під час експерименту необхідно зачекати закінчення перехідного процесу для визначення відповідності входу та виходу в статичному режимі. На рис. 5 наведено графік зміни вихідного параметра об'єкта під час експерименту для трьох змін вхідної величини, тобто збуреннях на вході. Зірочками позначені значення вихідної величини  $y$ , які відповідають статичним режимам і можуть бути використані для побудови статичної характеристики.

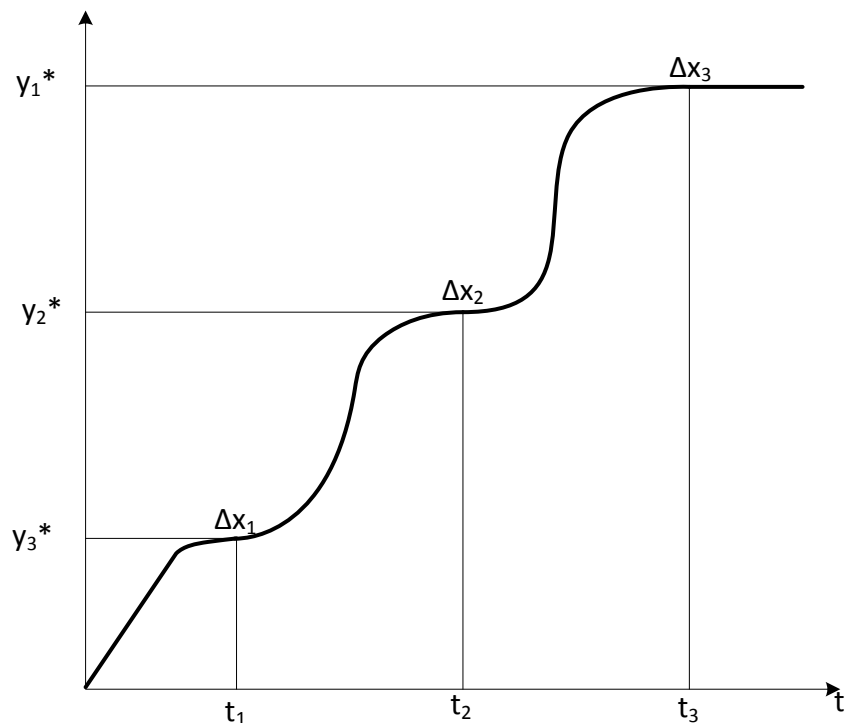


Рис 5. Графік зміни вихідної величини  $y$  в часі на три ступінчаті зміни вхідної величини  $x$  в моменти часу  $t_1, t_2, t_3$

На базі наведених вище міркувань можна сформулювати методику проведення експерименту з визначення статичної характеристики:

1. Визначити значення параметрів об'єкта моделювання, що відповідають основному статичному режиму та вивести на цей режим об'єкт.

2. Визначити допустимий діапазон зміни вхідної величини  $x$  каналу впливу, для якого визначається статична характеристика тобто

$x_{j\max} - x_{j\min}$ , а також крок зміни вхідної величини  $h_{xj}$  із розрахунку отримання 15-20 точок статичної характеристики

$$h_{xj} = \frac{x_{j\max} - x_{j\min}}{20} \quad (1)$$

3. Стабілізувати значення всіх входів об'єкта на рівні їх значень, що відповідають основному статичному режимі, крім входу  $x$ .

4. Вхід  $x_j$  привести до значення  $x_{j\min}$  (або  $x_{j\max}$ ), а потім, після завершення перехідного процесу вихідної величини у проводити поступово зміну вхідної величини  $x_j$  на крок  $h_{xj}$ , тобто давати  $x_j$  значення  $x_{jk}$  де  $k=0,1,\dots,20$ .

5. Спостерігати за зміною вихідної величини каналу впливу  $y_i$ . Коли  $y_i$  досягне сталого значення  $y_{ik}$ , записати його в таблицю відповідності  $x_{ik} - y_{ik}$ . Такі записи зробити для всіх сталих точок від  $x_j$  до  $x_{j\max}$

Результатом такого експериментального дослідження статички каналу впливу буде таблиця відповідностей  $x_{jk}$  та  $y_{ik}$

Експериментально – статистичний метод отримання статичних характеристик виходить із інших засад. Він не заперечує наявності детермінованих зв'язків між параметрами об'єкта моделювання, але цей метод не націлений на виявлення цих функціональних зв'язків. Він тільки виявляє ймовірний зв'язок між двома чи більшою кількістю параметрів об'єкта моделювання. У цьому методі стверджується, що в разі зміни вхідного параметра буде змінюватись вихідний параметр на відповідну величину з певним ступенем ймовірності. Величина ступеню ймовірності

буде залежати від ряду чинників: кількості отриманих експериментальних даних, методики планування та обробки експерименту та ін.

Експериментально – статистичний метод базується на випадкових величинах, функціях та процесах, тобто на таких величинах, функціях та процесах, де йдеться мова про ймовірність їх появи чи отримання певних результатів.

Експериментально – статистичний метод дослідження можна розділити на метод активного експерименту та метод пасивного експерименту.

Метод активного експерименту базується на наявності певних, спеціальних збурень – білих шумів, псевдовипадкових послідовностей та ін. Метод пасивного експерименту не передбачає подачу спеціальних збурень. У цьому випадку проводиться збір даних про значення вхідних та вихідних величин у певні моменти часу під час нормальної експлуатації об'єкта моделювання.

Метод пасивного експерименту також застосовується в алгоритмах поточної ідентифікації, тобто для визначення параметрів моделей (параметрична ідентифікація) або їх структури та параметрів (структурна ідентифікація) під час функціонування комп'ютерних систем керування, які використовують отримані моделі.

Статичні характеристики, отримані статистичними методами мають вигляд рівнянь регресії чи кореляційних функцій.

Між випадковими величинами може існувати зв'язок, який проявляється в тому, що одна з них реагує на зміну іншої зміною свого закону розподілення. Такий зв'язок називають стохастичним (ймовірністним).

Стохастичний зв'язок між двома випадковими величинами має місце тоді, коли існують загальні випадкові фактори, що впливають як на одну, так і на іншу випадкові величини разом з іншими неоднаковими для обох величин випадковими чинниками. Так, наприклад, якщо  $x$  є деяка функція від випадкових величин  $z_1, z_2, \dots, z_m, V_1, V_2, \dots, V_k$ :

$$x = f(z_1, z_2, \dots, z_m; V_1, V_2, \dots, V_k) \quad (2)$$

А у є функцією від тих же випадкових величин  $z_1, z_2, \dots, z_m$ , та деяких інших величин  $U_1, U_2, \dots, U_c$

$$y = f(z_1, z_2, \dots, z_m; U_1, U_2, \dots, U_c) \quad (3)$$

Зв'язок між такими змінними  $x$  та  $y$  називають також кореляційним зв'язком.

Кореляційний зв'язок величини полягає в тому, що при конкретному значенні, що приймає одна з них, інша може мати не одне точне значення, а ймовірність різних значень. Таким чином визначається зв'язок вхідної величини не з вихідною, а з її математичним чеканням. Обробка таким чином експериментальних даних дозволяє отримати коефіцієнт кореляції, взаємно кореляційну функцію чи рівняння регресії, які відображають статичні характеристики.

Запитання для контролю:

1. Що таке статична характеристика?
2. Наведіть методику проведення експерименту для визначення статичної характеристики.
3. В чому полягає метод пасивного експерименту?
4. Реалізуйте методи за допомогою програмних засобів.

### **Практичне заняття №5**

Експериментально – аналітичний метод отримання статичних характеристик

Мета: розглянути експериментально – аналітичний метод отримання статичних характеристик

Експериментально – аналітичний метод отримання статичних характеристик використовує найкращі якості аналітичного та експериментального методів.

Аналітичний метод дозволяє отримати статичні характеристики з структурою досить близько до структури об'єкта моделювання.

Це підвищує їх надійність та дозволяє їх використовувати в широкому діапазоні зміни параметрів. Однак отримані аналітичним шляхом статичні характеристики звичайно мають низьку точність. Це зв'язано з можливою неточністю задавання деяких параметрів об'єктів та прийняттям певних припущень. Через що розраховані коефіцієнти статичної моделі є неточними.

З другого боку, експериментальні моделі є досить точними, але вони не відображають структуру об'єкта через що їх можна використовувати тільки у вузькому діапазоні зміни параметрів в інтервалі значень їх, що використовувались під час експерименту.

В експериментально – аналітичних моделях використовується структура аналітично отриманих моделей, а коефіцієнти для них розраховуються за експериментальними даними. Це дозволяє використовувати переваги як, аналітичного, так і експериментального методів.

1. В чому полягає суть наведеного методу?
2. Назвіть переваги експериментально – аналітичного методу отримання статичних характеристик.
3. Що таке експериментально – аналітична модель?

## Практичне заняття №6

Експериментальні методи отримання динамічних характеристик об'єкта керування

Мета: розглянути експериментально-статистичний метод отримання динамічних характеристик

Класифікація експериментальних методів отримання динамічних характеристик.

Методи отримання динамічних характеристик, які є складовою математичних моделей діляться на детерміновані (закономірні) та статистичні (ймовірні).

Детерміновані методи отримання динамічних моделей базуються на передумові існування закономірного зв'язку між вихідними та вхідними параметрами в об'єкті моделювання. Детерміновані методи діляться на метод часових характеристик та частотний метод.

Статистичні методи отримання динамічних характеристик базується на передумові наявності випадкових взаємодій входів та виходів в об'єкті моделювання або зашумлення входів та виходів об'єкта випадковими величинами.

Методи статистичної динаміки, як і статистичної статистики, можна розділити на методи активного та пасивного експериментів.

Крім чисто експериментальних методів отримання динамічних характеристик, використовується експериментально-аналітичний метод. Цей метод, як і аналогічний у статистиці, базується на отриманні структури моделі аналітичним методом, а її параметрів (коефіцієнтів) – експериментальним методом.

Останнім часом, у зв'язку з поширенням застосування керуючих обчислювальних машин виробництві, знайшли досить широке розповсюдження методи поточної ідентифікації, які націлені на наближення (адаптацію) властивостей математичних моделей об'єктів керування властивостями самих об'єктів в процесі їх експлуатації перед використанням моделей в алгоритмах.



Розглянемо коротку характеристику та співставлення згаданих вище методів отримання динамічних моделей.

### **Експериментально-статистичний метод отримання динамічних характеристик**

Для отримання динамічних характеристик експериментально-статистичним методом потрібно мати кореляційні функції: взаємну кореляційну функцію  $R_{yx}$  та автокореляційну функцію  $R_{xx}$ , де  $y$  – вихідна величина,  $x$  – вхідна. Отримання кореляційних функцій  $R_{yx}$  та  $R_{xx}$  проводиться шляхом обробки статистичної вибірки (таблиці відповідності), яка визначається фіксацією в одні і ті ж моменти часу значень вхідної  $x$  та вихідної  $y$  змінних.

Взаємна кореляційна функція  $R_{yx}$  визначає взаємозв'язок вихідної змінної  $y$  з відповідним значенням вхідної змінної  $x$ , а автокореляційна функція  $R_{xx}$  визначає зв'язок вхідної змінної  $x$  із зсунутим на величину часу  $\tau$  своїм же значенням.

Перетворюючи кореляційні функції за Лапласом і підставляючи в отримані вирази замість оператора Лапласа  $P$  уявне його значення  $j\omega$  отримуємо відповідні спектральні щільності:

$$S_{yx}(\omega) \cong \int_{-T}^T e^{-i\omega t} R_{yx}(t) dt \quad (5)$$

$$S_{xx}(\omega) \cong \int_{-T}^T e^{-i\omega t} R_{xx}(t) dt \quad (6)$$

Якщо ми маємо значення взаємної спектральної щільності процесів  $y(t)$  та  $x(t)$  -  $S_{yx}(\omega)$ , а також спектральної щільності вхідної функції  $x(t)$  -  $S_{xx}(\omega)$ , ми можемо отримати АФХ об'єкта за формулою:

$$W(i\omega) = \frac{S_{yx}(\omega)}{S_{xx}(\omega)} \quad (7)$$

Визначення динамічних характеристик об'єкта моделювання цим методом зв'язано зі значними обчисленнями під час визначення кореляційних функцій, спектральних щільностей та динамічних характеристик. Ці розрахунки практично можливі тільки із застосуванням ЕОМ.

Слід відмітити, що розглянутий вище експериментально-статистичний метод отримання динамічних характеристик базується на обмежених експериментальних даних, що звичайно, знижує точність кореляційних функцій  $R_{yx}(t)$  та  $R_{xx}(t)$ . У зв'язку з чим, отримані цим методом динамічні характеристики мають обмежену точність. Незважаючи на це, цей метод використовується на практиці, так як дозволяє отримати динамічні характеристики об'єкта без додаткових збурень, в процесі його нормальної експлуатації. Недоліки цього методу є його громіздкість, трудоємкість та невисока точність.

Запитання для контролю:

1. Що таке динамічна характеристика?
2. Наведіть класифікацію експериментальних методів отримання динамічних характеристик.
3. Що таке АФХ?
4. В чому суть перетворення Лапласа?
5. Реалізуйте наведені методи за допомогою програмних засобів.

## Практичне заняття №7

### Експериментально – аналітичний метод отримання динамічних характеристик

Мета: розглянути експериментально – аналітичний метод отримання динамічних характеристик та поточну ідентифікацію моделей об'єктів керування

Аналізуючи аналітичний та експериментальний методи отримання динамічних характеристик, можна стверджувати, що кожний з них має свої позитивні та негативні якості. Розглянемо деякі з них.

Очевидно, що відповідність аналітичної моделі цілому класу об'єктів моделювання, відображення взаємозв'язків між внутрішніми параметрами об'єкта в цій моделі, а також відповідність структури моделі структурі об'єкта, є досить вагомою перевагою аналітичного моделювання. Разом з тим, аналітична модель не позбавлена недоліків. З них можна виділити найбільш істотні: низьку точність значну складність визначення числових значень багатьох змінних та констант, наприклад, коефіцієнта теплопередачі, константи швидкості хімічної реакції, температури чи концентрації в проміжних ємкостях, тощо.

Експериментальні ж методи моделювання є, у більшості своїй, більш точними, менш громіздкими, ніж аналітичні, однак і вони мають істотні недоліки. Наприклад, структура експериментально отриманої моделі та об'єкта моделювання можуть суттєво відрізнятися одна від одної. Експериментальна модель не відображає внутрішню структуру об'єкта моделювання і взаємозв'язки проміжних параметрів, її коефіцієнти не відповідають конструктивним та технологічним параметрам об'єкта моделювання.

У зв'язку з невідповідністю структури експериментально отриманої моделі структурі об'єкта моделювання використання її в дещо іншому діапазоні параметрів приводять до істотної втрати точності моделі.

Звичайно, виникає бажання об'єднати позитивні якості аналітичного та експериментального методів отримання математичних моделей. Експериментально-аналітичний метод моделювання якраз і робить спробу це зробити. Він передбачає використання структури аналітичної модулі, а розрахунок її коефіцієнтів – за експериментальними даними.

Структура моделі у відповідності з цим методом будується за методикою аналітичного моделювання. Всупереч цій методиці коефіцієнти експериментально-аналітичної моделі за нею розраховуються, а аналітична модель лише записується в загальному вигляді через символні позначення коефіцієнтів, наприклад:

$$a_n y^{(n)}(t) + a_{n-1} y^{(n-1)}(t) + \dots + a_1 y' + y = kx(t), \quad (8)$$

де  $k$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_n$  - коефіцієнти моделі, виражені в загальній (символьній) формі. Таким чином, вираз, наприклад (8), задає структуру з певним значенням і кількістю доданків. Ця структура використовується в подальшому для отримання експериментально-аналітичної моделі.

Другою фазою експериментально-аналітичного методу моделювання експерименту та отримання експериментальних даних для розрахунку динамічних характеристик, у вигляді таблиць, перехідних характеристик, годографа АФХ, тощо.

Третьою фазою експериментально-аналітичного методу моделювання є апроксимація експериментальних даних. Для апроксимації експериментальних даних у цьому випадку використовується структура аналітичної моделі, тобто рівняння (8). За відповідною методикою апроксимації розраховуються коефіцієнти рівняння (8), тобто тієї структури, що отримана аналітичним шляхом.

Таким чином, експериментально-аналітична модель має структуру відповідну структурі об'єкта моделювання і точність аналогічну експериментальним моделям.

Недоліки експериментально-аналітичного моделювання є необхідність йти зразу двома шляхами: і аналітичним, і експериментальним. Це майже подвоює трудові затрати, тобто трудоемкість цього методу значно зростає. Крім того, отриману для конкретного об'єкта моделювання експериментально-аналітичну модель не можна використовувати для іншого, навіть досить близького за конструкцією та технологією об'єкта моделювання. Звичайно, структура моделі, отриману аналітичним методом, можна використовувати і для інших подібних об'єктів, але коефіцієнти необхідно визначати кожного конкретного об'єкта моделювання.

### **Поточна ідентифікація моделей об'єктів керування**

Властивості об'єктів моделювання з часом їх експлуатації істотно змінюються. В зв'язку з чим, математичні моделі таких об'єктів, навіть найбільш точні, що відображають їх структуру, з часом гублять точність і стають неадекватними об'єктами моделювання. Звичайно, такі моделі вже неможливо використовувати в алгоритмах адаптації систем курування.

Під час розробки математичних моделей таких об'єктів можна передбачити зміни властивостей об'єкта моделювання в процесі його експлуатації включенням певних залежностей.

Однак врахування в моделях поступових змін властивостей об'єктів моделювання приводить до складних та громіздких залежностей зі змінними коефіцієнтами. Використовувати такі моделі досить складно. Крім того, такий метод врахування змін властивостей об'єкта моделювання не гарантує точності моделі, так як в залежності від умов експлуатації об'єкта його властивості можуть змінюватися по різному.

У зв'язку з чим, уточнення моделей об'єктів курування в процесі експлуатації проводиться методами поточної ідентифікації чи адаптації.

Метод поточної ідентифікації базується на тому, що періодично проводиться визначення математичної моделі об'єкта в процесі його експлуатації спеціальною програмою, яка функціонує в рамках математичного забезпечення системи керування в процесі їх експлуатації широко використовується. Для виконання поточної ідентифікації об'єктів курування розроблено значну кількість методів та алгоритмів. Алгоритми ідентифікації можна класифікувати на алгоритми отримання динамічних моделей. За іншою класифікацією алгоритми поточної ідентифікації можна розділити на алгоритми параметричної ідентифікації та алгоритми структурної ідентифікації.

Алгоритми отримання статичних та динамічних моделей є досить численними, особливо алгоритми статичної ідентифікації, які і знайшли більш широке застосування. Алгоритми статичної ідентифікації використовуються в задачах статичної оптимізації, отримання розрахункових параметрів та в деяких інших задачах.

Алгоритми динамічної ідентифікації найчастіше застосовуються в задачах адаптивного курування чи регулювання.

В алгоритмах параметричної ідентифікації розраховуються лише значення коефіцієнтів чи параметрів моделей. Структура моделей у цьому

випадку залишається незмінною. Поточна параметрична ідентифікація застосовується у випадках, коли зміни властивостей об'єкта моделювання з часом є не дуже значними. Коли ж властивості об'єкта моделювання змінюються в широкому діапазоні, то однією параметричною ідентифікацією не вдається привести властивості моделі до властивостей об'єкта моделювання. Тоді виникає необхідність у структурній поточній ідентифікації, в якій змінюється не тільки коефіцієнти моделей, але й сама структура моделей. Алгоритми поточної структурної М можна будувати на основі методу найменших квадратів, ортогональних поліномів Чебишева та деяких інших.

Важливим чинником застосування поточної ідентифікації чи адаптації моделей є дослідження її необхідності. Якщо математична модель об'єкта з часом губить свою точність із-зі змін властивостей об'єкта і стає неадекватною об'єкту, то виникає необхідність в адаптації моделі.

Адаптація моделей може виконуватись перед кожним її застосуванням чи рідше в залежності від швидкості змін властивостей об'єкта моделювання. Інтервал часу проведення адаптації моделей визначається одночасно з дослідженням необхідності її проведення.

Адаптація моделей методами поточної ідентифікації є значно ефективніша, ніж інші її методи, наприклад, врахування в моделі змін властивостей об'єкта під час його експлуатації.

Запитання для контролю:

1. В чому суть експериментально – аналітичного методу отримання динамічних характеристик?
2. Що таке ідентифікація?
3. Що таке адаптація?
4. Наведіть недоліки експериментально – аналітичний моделювання.
5. Реалізуйте наведені методи за допомогою програмних засобів.

## Список літератури

1. Кафаров В.В., Мешалкин В.П. Принципы математического моделирования химико-технологических систем. – М.: Химия, 1974. – 344 с.
2. Ладиев Р. Я., Остапенко Ю. А., Кубрак А. И., Кваско М. З. Аналитические методы описание объектов с сосредоточенными параметрами. Ч. I. Киев: КПИ, 1973. – 119 с. та 108 с.
3. Остапенко Ю. А. Типовые АСР химико-технологических процессов. – Киев: УМК ВО УССР, 1988. – 171 с.
4. Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений ( Под ред. Д. Холла и Д. Уатта ). – М.: Мир, 1979. – 310 с.
5. Кубрак А. И., Жученко А. И., Ярощук Л. Д. Методы и программы для исследования систем автоматизации. – К.: УМК ВО. 1989 – 228 с.
6. Остапенко Ю. О. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування. - К.: Задруга, 1999. – 424 с.