

13.2 Моделі систем автоматики

Моделі систем управління відрізняються значною різноманітністю, проте усі вони кінець-кінцем відображають варіанти реалізації основних принципів і законів управління.

Характеристики і властивості систем управління визначаються, в першу чергу, особливостями об'єкта управління (ОУ). Отже, системи управління відповідно до типу об'єкта можна розділити на три основні категорії:

- технічні системи (ОУ є машини, апарати, технологічні лінії тощо);
- виробничі системи (ОУ є підприємство, підрозділ підприємства);
- організаційні системи (ОУ є установи, суспільні організації, військові підрозділи тощо).

Об'єкти управління існують у складному навколишньому середовищі і постійно взаємодіють з ним. Тому процеси у ОУ теж є досить складними і багатогранними. Керовані процеси в ОУ можна розділити на:

- матеріальні, енергетичні, інформаційні. Відповідно до цього визначається фізичний принцип дії виконавчої частини. Матеріальні процеси відбуваються переважно у верстатах, технологічних лініях, хімічних реакторах тощо. Енергетичні процеси пов'язані з отриманням, перетворенням, транспортуванням і використанням енергії, відбуваються, переважно, в енергосистемах, на транспорті тощо. Інформаційні процеси передбачають отримання, передавання, обробку, зберігання та використання інформації. Вони відбуваються переважно в організаційних системах. Найскладнішим, з точки зору керованих процесів, є виробничі системи. В них найчастіше відбуваються і потребують управління всі три типи процесів;

- неперервної, дискретної, циклічної дії. Відповідно до цього визначається характер розвитку керованого процесу у час, що безпосередньо впливає на закон управління.

Основні задачі, які вирішують системи управління:

- задача стабілізації, тобто забезпечення постійного стану об'єкта управління;
- задача стеження, тобто переведення об'єкта у стан, який відповідає змінам вхідного сигналу (завдання), які у загальному випадку можуть бути випадковими;
- задача термінального управління, переведення об'єкта з певного початкового у заданий кінцевий стан;
- задача програмного управління, тобто зміна стану об'єкта у певній послідовності;
- задача екстремального управління, тобто забезпечення максимального або мінімального значення певного параметра стану об'єкта управління.

Роль людини-оператора в розв'язанні цих задач залежить від характеру об'єкта управління. Переважно на нього покладається розв'язання задач, що

важко формалізуються, прийняття рішень в умовах невизначеності; стратегічне управління. Частина таких задач максимальна в організаційних системах і мінімальна в технічних системах.

Процеси в системах управління визначаються головними *принципами* їх функціонування. Ці принципи розроблялися протягом досить довгої історії розвитку науки про управління. Виділяють декілька фундаментальних принципів:

- принцип розімкненого управління;
- принцип управління за відхиленням (принцип зворотного зв'язку);
- принцип оптимального управління;
- принцип адаптації.

Основна мета принципів управління – визначення способу переведення об'єкта управління у заданий стан з максимальною точністю в умовах дії збурення f . Узагальнені структурні схеми систем, які відповідають цим принципам, наведені на рис. 13.6.

Традиційно відлік періоду активного розвитку систем управління починають з появи систем на основі принципу управління за відхиленням, який був використаний в регуляторі парової машини Уатта. Але слід відзначити, що і цей, і інші принципи управління, хоча й не формулювалися, але використовувалися задовго до Уатта, оскільки вони визначають процеси управління і саморегуляції не тільки у техніці, а й у живому світі і суспільстві.

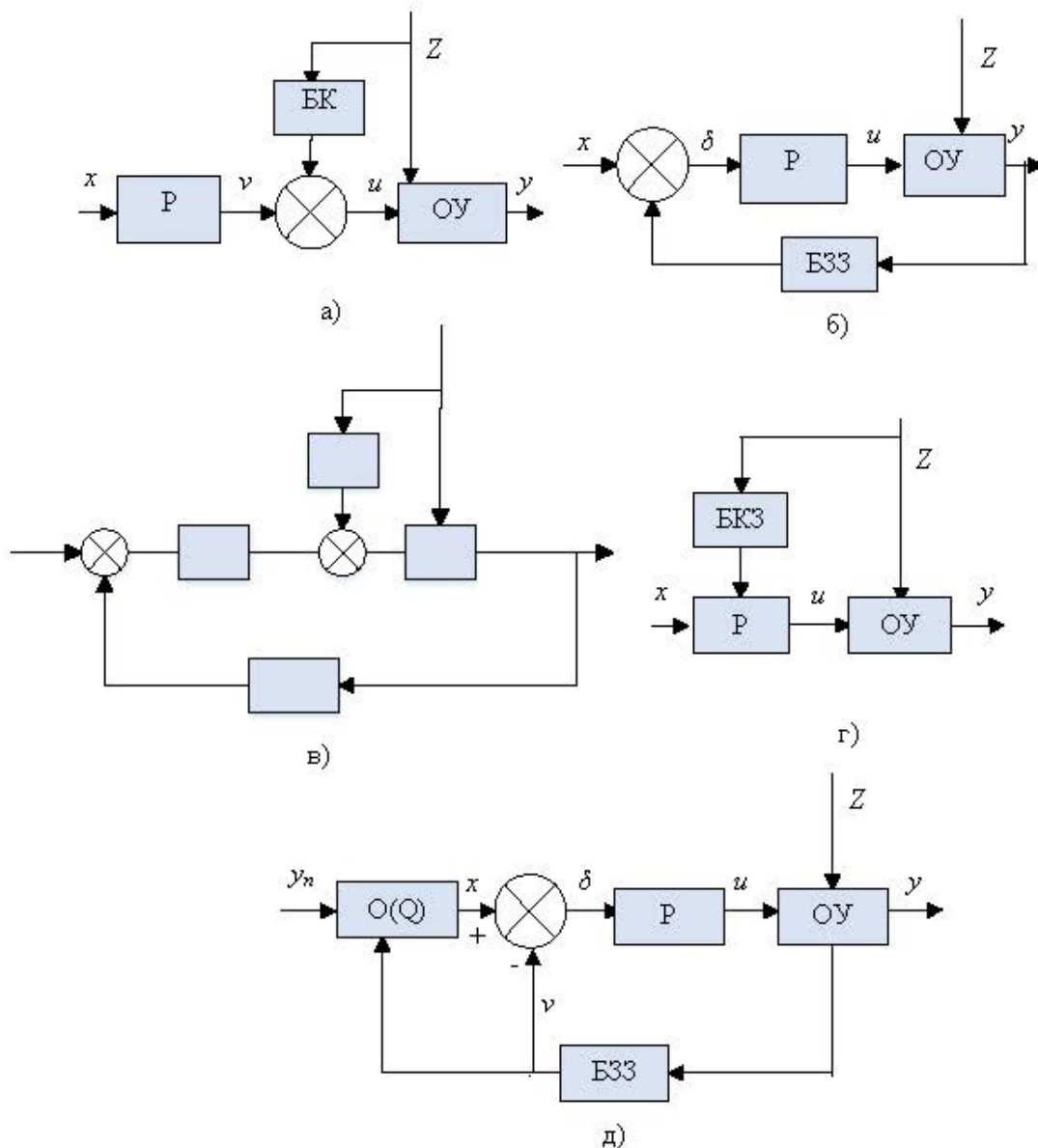


Рисунок 13.6 – Основні принципи керування:
 а) розімкнене керування, б) замкнене керування, в) комбіноване керування, г) адаптивне керування, д) оптимальне керування

Принцип розімкненого управління (рис. 13.6, а) є найпростішим. Суть розімкненого управління полягає у вимірюванні збурення Z і компенсації його впливу на об'єкт управління OY через додавання відповідної корекції ($-v$), яка виробляється блоком корекції $БК$ до управління u , яке надходить з регулятора P .

Операторна модель такої системи має вигляд

$$\begin{cases} Y = F_0(U, Z) \\ U = F_P(X, Z) \end{cases} \quad (13.17)$$

Перевагою цього принципу є простота та швидка і адекватна реакція на значні контрольовані збурення. Недоліком є значні похибки, зумовлені похибками вимірювання збурення, обчислення необхідної корекції (для чого необхідно точно передбачати реакцію об'єкта на збурення та управління), наявність крім основного контрольованого збурення, ще й великої кількості менших, але неконтрольованих збурень.

Принцип управління за відхиленням (рис. 13.6, б) ще називають принципом замкненого управління або принципом від'ємного зворотного зв'язку (ЗЗ). Це найфундаментальніший принцип управління у природі та техніці. Управління за цим принципом передбачає вимірювання стану y об'єкта управління за допомогою блока зворотного зв'язку БЗЗ і знаходження його відхилення $\delta = x - y$ від завдання x , на основі чого регулятор виробляє керуючий вплив u .

Зворотний зв'язок – це зв'язок, при якому на вхід регулятора подається значення вихідної змінної. Він буває:

- жорсткий – такий ЗЗ, при якому на вхід регулятора надходить сигнал, пропорційний вихідному сигналу об'єкта в будь-який момент часу;
- гнучкий – такий ЗЗ, при якому на вхід регулятора надходить не тільки сигнал, пропорційний вихідному сигналу об'єкта, але і сигнал, пропорційний похідним вихідної змінної.

Операторна модель такої системи має вигляд

$$\begin{cases} Y = F_0(U, Z) \\ U = F_P(X - V) \\ V = F_{ЗЗ}(Y) \end{cases} \quad (13.18)$$

де F_0 – оператор об'єкта управління; F_P – оператор регулятора; $F_{ЗЗ}$ – оператор зворотного зв'язку; X, Y, Z, U, V – вектори сигналів і впливів.

Перевагою цього принципу є його універсальність, тобто функціонування незалежно від кількості та природи збурень. Недоліками є можливість появи нестійкості системи, складність одночасного забезпечення високої точності, стійкості та швидкодії, складності, для деяких об'єктів, вимірювання стану та забезпечення зворотного зв'язку.

Принцип комбінованого регулювання використовується одночасно з регулюванням за збуренням і за відхиленням (див. рис. 13.6, в), що забезпечує найбільш високу точність управління.

Принцип адаптації (див. рис. 13.6, г) полягає у пристосуванні параметрів, структури або алгоритму функціонування системи управління до зміни умов. Адаптація здійснюється за допомогою блока корекції закону управління БКЗ, який оцінює зміни умов (ідентифікує систему) і приймає рішення щодо необхід-

них змін у законі управління. В результаті чого змінюються параметри або взагалі вигляд оператора F_p .

Перевагою є можливість роботи в умовах невизначеності, недоліками – складність та, інколи, можливість втрати стійкості системи.

Принцип оптимального управління (див. рис. 13.6, д) полягає у знаходженні такого закону управління u , який забезпечив би переведення об'єкта управління з початкового стану y_0 у кінцевий стан y_n з додатковою умовою – забезпечити досягнення мінімуму або максимуму певного показника Q (наприклад, часу управління, витрат енергії тощо), який називається критерієм або цільовою функцією. Можуть також задаватися обмеження на певні параметри процесу управління. Задача розв'язується за допомогою блоку оптимізації O , який знаходить оптимальну траєкторію (бажану послідовність проміжних станів об'єкта), з якої регулятор формує управління u .

Оптимальне управління за своєю суттю має високі показники якості, але ускладнює систему і погано працює в умовах значних збурень та невизначеності характеристик об'єкта.

Закон управління – це правило обчислення керуючого сигналу u на основі вставки (вхідного сигналу) x і параметрів стану об'єкта y . При комп'ютерній реалізації закон управління називають алгоритмом. Фактично закон управління – це конкретний спосіб реалізації операторів моделей (13.17) і (13.18).

Головне призначення закону управління – переведення об'єкта управління з поточного стану y в заданий стан x за умови забезпечення необхідних показників якості.

Головне призначення закону управління – переведення об'єкта управління з поточного стану y в заданий стан x за умови забезпечення необхідних показників якості.

Закони управління розділяють на лінійні і нелінійні.

Лінійні закони використовуються в системах автоматичного управління технологічними процесами для управління лінійними об'єктами без обмежень. Вибір лінійного закону управління визначається необхідною точністю управління.

Розглянемо складові загальної похибки управління на основі найпростішої системи управління. На рис. 13.7, а наведена структурна схема системи, а на рис. 13.7, б – часові діаграми вхідного та вихідного сигналів (уставки та стану об'єкта).

Внаслідок інерційності системи при зміні уставки в момент $t = 0$ з $x = x_1$ на $x = x_2$ стан системи y поступово змінюється, наближаючись до заданого значення. В ході перехідного процесу ця інерційність приводить до наявності динамічної похибки ε_d . Але наявність в будь-якій системі управління певної нечутливості та втрат енергії (аналогічно механічному сухому тертю) приводить до того, що навіть в усталеному режимі існує певна похибка $\varepsilon_{ст}$, яку називають статичною. Загальна похибка

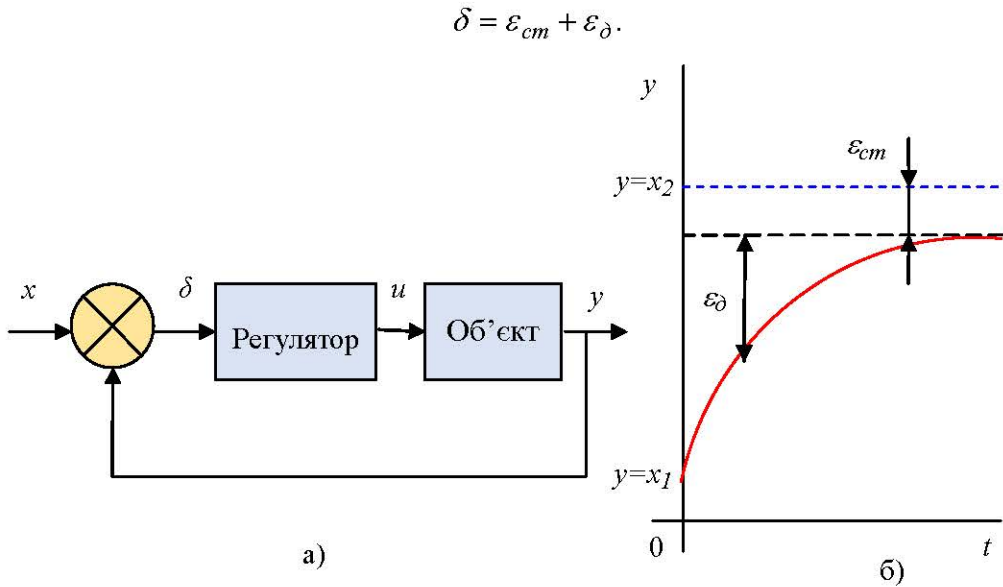


Рисунок 13.7 – Найпростіша лінійна САУ

Для зменшення тої чи іншої складової загальної похибки використовують різні лінійні закони управління. Найпоширенішими є типові закони управління:

- Пропорційний – **П**;
- Інтегральний – **І**;
- Диференціальний – **Д**;
- Пропорційно-інтегральний – **ПІ**;
- Пропорційно-диференціальний (форсуючий) – **ПД**;
- Пропорційно-інтегрально-диференціальний – **ПІД**.

Найпростішим є пропорційний закон

$$u = k(x - y), \quad (13.19)$$

тобто з передатною функцією регулятора

$$W_p = k. \quad (13.20)$$

Така система має значні похибки – як статичну, так і динамічну.

Для усунення статичної похибки використовується інтегральний закон управління

$$u = k \int_0^t (x - y) dt. \quad (13.21)$$

Передатна функція регулятора, що реалізує такий закон

$$W_p = \frac{k}{p}. \quad (13.22)$$

Усуваючи статичну похибку, інтегральний закон управління суттєво погіршує динамічні характеристики системи.

Для одночасного покращання як статичних, так і динамічних характеристик використовуються комбіновані закони управління.

Для зменшення динамічної похибки використовується пропорційно-диференціальний (форсуючий) закон

$$u = k_1(x - y) + k_2 \frac{d(x - y)}{dt}. \quad (13.23)$$

Передатна функція регулятора, що реалізує такий закон

$$W_p = k_1 + k_2 p. \quad (13.24)$$

Диференціальна складова зменшує динамічну та збільшує статичну похибку системи. Крім того, дещо погіршується завадостійкість.

Пропорційно-інтегральний закон

$$u = k_1(x - v) + k_2 \int_0^t (x - v) dt \quad (13.25)$$

зменшує статичну похибку, не погіршуючи динаміку системи.

Передатна функція регулятора, що реалізує такий закон

$$W_p = k_1 + \frac{k_2}{p}. \quad (13.26)$$

Пропорційно-інтегральний закон усуває статичну похибку, не збільшуючи динамічну похибку системи.

Найкращим (але найскладнішим) є пропорційно-інтегрально-диференціальний закон

$$u = k_1(x - v) + k_2 \int_0^t (x - v) dt + k_3 \frac{d(x - v)}{dt}. \quad (13.27)$$

Передатна функція регулятора, що реалізує такий закон

$$W_p = k_1 + \frac{k_2}{p} + k_3 p. \quad (13.28)$$

Пропорційно-інтегрально-диференціальний закон усуває статичну похибку і зменшує динамічну похибку системи.

Таким чином, загальна модель системи автоматичного управління отримується підстановкою у систему рівнянь (13.17), (13.18), або іншу, яка

відображає принцип управління у системі, що моделюється, моделі об'єкта управління, регулятора, який реалізує певний закон управління, і зворотного зв'язку.

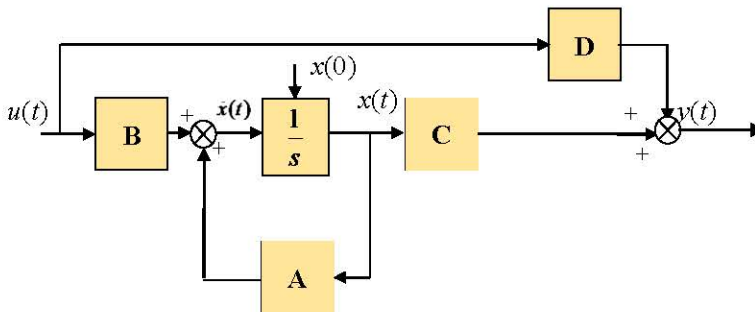
При моделюванні систем управління із складною структурою найчастіше використовують моделі у просторі станів і їх матричне подання (у випадку лінійних систем).

У просторі станів створюється модель динамічної системи, що містить набір змінних входу, виходу і стану, пов'язаних між собою диференціальними рівняннями першого порядку, які записуються в матричній формі. Для побудови такої моделі використовується базова структурна схема, показана на рис. 13.8.

Для випадку лінійної системи з входами, виходами і n змінними стану модель має вигляд:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}(t)\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}(t)\mathbf{u}(t) \\ \mathbf{y}(t) = \mathbf{C}(t)\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}(t)\mathbf{u}(t) \end{cases} \quad (13.29)$$

де $\mathbf{x}(t)$ – вектор стану, елементи якого називаються станами системи, $\mathbf{y}(t)$ – вектор виходу, $\mathbf{u}(t)$ – вектор управління, $\mathbf{A}[n \times n]$ – матриця системи, $\mathbf{B}[n \times p]$ – матриця управління, $\mathbf{C}[q \times n]$ – матриця виходу, $\mathbf{D}[q \times p]$ – матриця прямого зв'язку.



Перше рівняння – це рівняння стану, друге – рівняння виходу. Часто матриця D є нульовою – це означає, що в системі немає явного прямого зв'язку.

Для дискретних систем запис рівнянь в просторі станів ґрунтується не на диференціальних, а на кінцево-різницевих рівняннях:

$$\begin{cases} \mathbf{x}(kT + 1) = \mathbf{A}(kT)\mathbf{x}(kT) + \mathbf{B}(kT)\mathbf{u}(kT) \\ \mathbf{y}(kT) = \mathbf{C}(kT)\mathbf{x}(kT) + \mathbf{D}(kT)\mathbf{u}(kT) \end{cases} \quad (13.30)$$