

4. ОБ'ЄКТИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Поняття об'єкта регулювання і види впливів на нього. Класифікація об'єктів і їх динамічні характеристики. Криві розгону, графічна обробка статичних і астатичних об'єктів регулювання.

4.1. Загальні відомості

Об'єкти регулювання на збагачувальних фабриках характеризуються великим різноманіттям своїх технологічних властивостей і призначення. Однак з позицій автоматичного регулювання вони можуть бути узагальнені за деякими ознаками.

У залежності від числа регульованих величин, необхідних для ефективної роботи регульованих об'єктів, останні розділяються на об'єкти з однією і декількома регульованими величинами.

Об'єкти з однією регульованою величиною мають одну вихідну $Y_{вих}$ і декілька вхідних величин, з яких одна є регулюючим впливом X_p , а всі інші – збурюючими впливами $X_{\epsilon 1}, X_{\epsilon 2}, \dots, X_{\epsilon n}$. (рис. 4.1 а). Збурення, що діє на об'єкт по тому ж каналу, що й регулюючий вплив, називається *внутрішнім*, або *основним*. Інші збурення називаються *зовнішніми*.

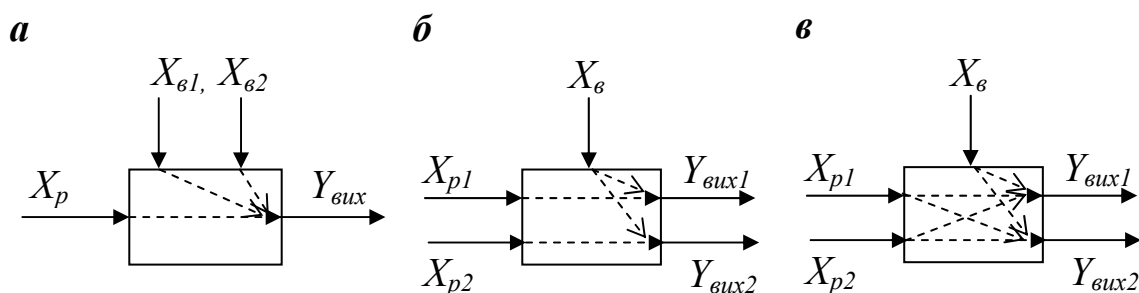


Рис. 4.1. Схеми передачі впливів у об'єкті з однією регульованою величиною (а) і з двома регульованими величинами (б, в).

У межах невеликих відхилень цих величин промислові об'єкти регулювання можуть розглядатися як лінійні системи. Тому відхилення регульованої величини $Y_{вих}$, викликане дією всіх вхідних величин, дорівнює сумі відхилень, викликаних дією кожного вхідного сигналу нарізно.

Для повного опису динамічних властивостей об'єкта з однією регульованою величиною необхідно знати стільки його диференціальних рівнянь (або характеристик, що замінюють їх), скільки вхідних величин він має.

У разі регульованого об'єкта з декількома регульованими величинами (рис. 4.1 б, в) число регулюючих впливів, а отже, і кількість регулюючих органів, як правило, дорівнює числу регульованих величин.

У даному варіанті можливі два випадки:

1. Кожний канал керування (регулюючий орган) впливає тільки на одну регульовану величину (рис. 4.1 б). Тут об'єкт регулювання можна розбити на відповідне число незалежних один від одного локальних об'єктів. Тоді система регулювання об'єкта загалом складається з ряду окремих підсистем з однією регульованою величиною, які можуть працювати незалежно один від одного. Число таких підсистем повинно дорівнювати числу регульованих величин об'єкта. Реалізація системи керування таким об'єктом не викликає ускладнень.

2. Кожний канал керування, крім впливу на регульовану величину (за ним закріплену), певним чином впливає і на інші регульовані величини (рис. 4.1 в). У цьому випадку регульований об'єкт з декількома взаємопов'язаними регульованими величинами формально може бути представлений таким, що складається з декількох локальних об'єктів з однією регульованою величиною кожний, як і в першому випадку. Однак потрібно враховувати, що на кожний з цих локальних об'єктів впливають додаткові збурюючі впливи з боку інших локальних об'єктів. Тому настройка даних об'єктів іноді пов'язана з певними труднощами. У цих випадках існують способи реалізації принципу інваріантності локальних об'єктів, які забезпечують їх автономність. Але це питання тут не розглядається.

4.2. Класифікація і динамічні характеристики об'єктів регулювання

Незважаючи на різноманітність динамічних властивостей промислових об'єктів регулювання, можна виділити деякі специфічні особливості, властиві більшості з них. Однією з цих особливостей є вид перехідної функції об'єкта регулювання, за яким вони класифікуються на три категорії: стійкі, нестійкі і нейтральні.

Об'єкт стійкий, якщо після закінчення дії зовнішнього імпульсного збурення (X) він з плином часу повернеться до початкового стану (рис. 4.2 а).

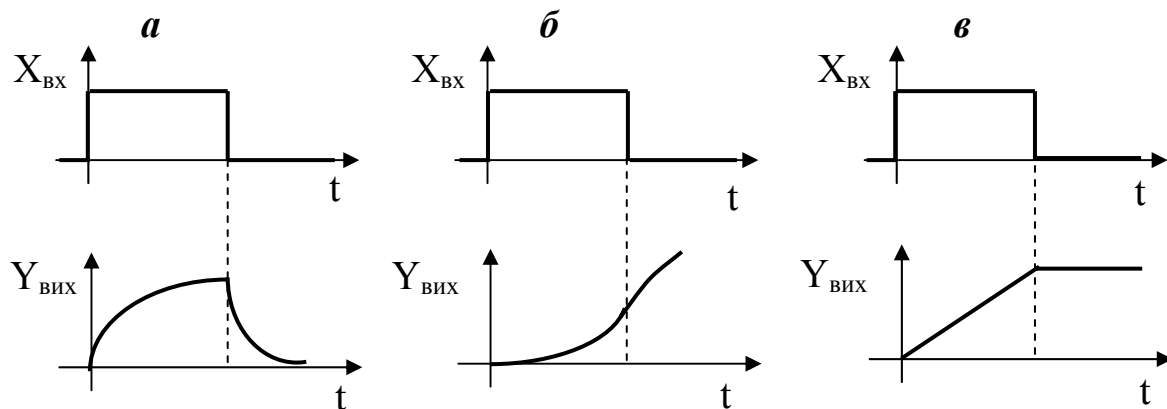


Рис. 4.2. Перехідні функції стійкого (а), нестійкого (б) і нейтрального (в) об'єктів регулювання.

Стійкі об'єкти часто називають об'єктами, що володіють властивостями *самовирівнювання*. Тільки для даних об'єктів мають значення статичні характеристики, тому вони ще називаються – **статичні** об'єкти.

Нестійкі об'єкти характеризуються тим, що після припинення дії зовнішнього впливу вихідна величина ($Y_{\text{вих}}$) продовжує змінюватися (рис. 4.2 б). Ці об'єкти не володіють властивостями *самовирівнювання* і вельми складні для автоматичного регулювання.

У нейтральних об'єктах або об'єктах, які частково володіють властивістю *самовирівнювання*, вихідна величина після зняття збурення набуває нового сталого значення (рис. 4.2 в). Ці об'єкти частіше називають **астатичними**.

Статичні і динамічні характеристики об'єктів регулювання можна отримати всіма способами, розглянутими в розділі 3. Розглянемо докладніше способи отримання характеристик статичних і астатичних об'єктів шляхом обробки їх експериментальних кривих розгону. Цей спосіб найбільш прийнятний, оскільки експериментально знята крива розгону несе інформацію про всі особливості конкретного промислового об'єкта, а у разі реєстрації кривої за допомогою існуючої системи контролю вихідного параметра у характеристику об'єкта увійдуть і динамічні властивості системи вимірювання.

Статичні об'єкти. На рис. 4.3 подано криві розгону статичних об'єктів, отримані експериментально при ступінчастому збуренні ΔX з боку основного каналу керування. Поставлено завдання – визначити передавальні функції об'єктів.

Розглянемо об'єкт з найбільш простою кривою розгону, показаний на рис. 4.3 а. Вигляд кривої $Y(t)$ свідчить, що об'єкт представлений двома типовими ланками – інерційною ланкою першого порядку і транспортного запізнення, включеними послідовно. Зазначимо, що в промислових об'єктах запізнення пояснюється в основному наявністю в них декількох розділених одна від одної ємкостей, в яких акумулюється енергія або речовина, а також розподілених ємкостей.

Передавальна функція даного об'єкта може мати вигляд:

$$W(p) = \frac{ke^{-p\tau}}{Tp + 1} \quad (4.1)$$

де k , T і τ – відповідно коефіцієнт передачі, стала часу і транспортне запізнення об'єкта відповідно.

Ці сталі визначаються таким чином. Коефіцієнт передачі – це відношення приросту вихідної величини при новому сталому значенні до величини стрибка з боку каналу керування, тобто $k = \Delta Y / \Delta X$, при цьому коефіцієнт має розмірність – [відношення одиниці вимірювання вихідної величини до одиниці вимірювання вхідної].

Тимчасові параметри визначаються графічно, як це показано на рисунку (а). Тут точка "А" – точка перетину дотичної

перехідної функції (в точці максимальної швидкості її зміни) і лінії нового сталого значення.



Рис. 4.3. Криві розгону статичних об'єктів і їх графічна обробка.

На рисунках (4.3 а і 4.3 б) показана крива розгону, яка найбільш характерна для технологічних об'єктів, у тому числі і збагачувальних апаратів. Тут можливі два шляхи апроксимації об'єкта простими типовими ланками. У першому випадку об'єкт можна представити двома ланками, у другому – трьома.

Зрозуміло, що зі спрощенням математичного опису меншає число констант, що визначаються дослідним шляхом, але при цьому ростуть похибки математичного опису. Тому потрібно знайти компромісне рішення між простотою і точністю.

Розглянемо спрощений варіант апроксимації об'єкта.

Представимо передавальну функцію як послідовне з'єднання двох ланок – транспортного запізнення і аперіодичного першого порядку, що відповідає виразу (4.1).

Визначення тимчасових констант рівняння тут дещо відрізняється. Дотична проводиться в точці перегину "Б" кривої (рис. 4.3. б). Визначення параметрів " τ " і " T " зрозуміле з рисунка.

Більш точне математичне представлення кривої розгону має місце при апроксимації об'єкта двома ланками – транспортним запізненням і аперіодичною ланкою другого порядку, що відповідає двоємнісному об'єкту з транспортним запізненням:

$$W(p) = \frac{k e^{-p\tau}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}.$$

Для визначення постійних часу T_1 і T_2 необхідно як і раніше провести дотичну до кривої розгону в точці її перегину, виміряти відрізки "а" і "b", як показано на (рис. 4.3 в), і обчислити відношення b/a . Потім використовують графік для визначення T_1 і T_2 (рис. 4.4) [3]. На ньому проводять пряму (штрихова лінія) через точки М і N з координатами (0, b/a) і (b/a , 0).

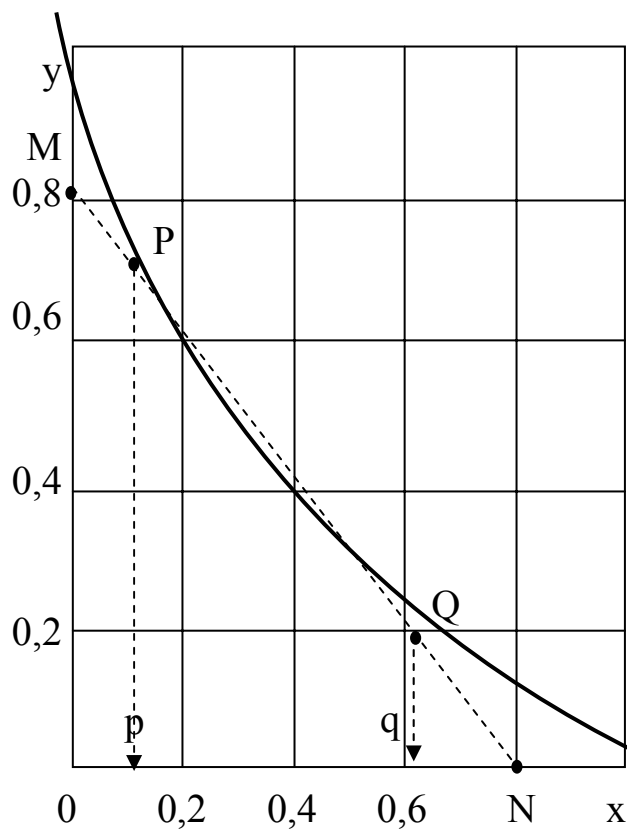


Рис. 4.4. Графіки для визначення T_1 і T_2 двоємнісного об'єкта.

Абсциса (q) точки перетину кривої і штрихової ліній (Q) дорівнює T_1/a , абсциса (p) точки (P) дорівнює T_2/a . З цих співвідношень визначається значення T_1 і T_2 . На рисунку виконана побудова для прикладу, в якому за результатами обробки кривої розгону $a=100$ с, $v=80$ с. За цих умов знаходимо: $v/a = 0.8$, $T_1/a = 0.62$, $T_2/a = 0.12$. Тоді $T_1=61$ с, $T_2= 12$ с.

Якщо крива розгону характеризується коливаннями в області сталого значення, то передавальна функція включає послідовне з'єднання коливальної ланки (3.15) і ланки транспортного запізнення (якщо воно присутнє).

Існують допоміжні графіки [3], що дозволяють визначити тимчасові сталі для даного об'єкта і коефіцієнт загасання.

Астатичні об'єкти. Крива розгону типового реального астатичного об'єкта показана на рис. 4.5.

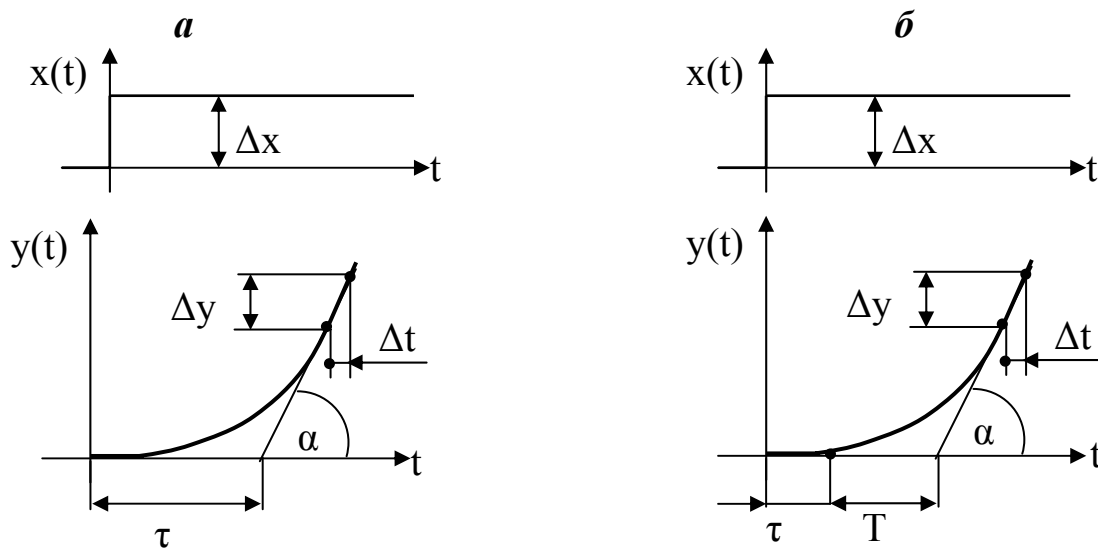


Рис. 4.5. Варіанти обробки кривої розгону астатичного об'єкта.

Передавальна функція такого об'єкта, представлена двома послідовно включеними ланками (реальної інтегрувальної і транспортного запізнення), має вигляд:

$$W(p) = \frac{ke^{-p\tau}}{p(Tp + 1)} \quad (4.3)$$

Визначити параметри виразу (4.3) можна декількома способами. Нестійкий об'єкт характеризується одним сталим параметром – швидкістю зміни вихідної величини.

Тому за коефіцієнт передачі об'єкта приймається відношення швидкості зміни y (при $t \rightarrow \infty$) до величини збурення Δx . Швидкість зміни вихідного параметра оцінюється величиною $\operatorname{tg} \alpha$, тоді з урахуванням позначень на рис. 4.5 а маємо:

$$\bar{k} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\Delta x} = \frac{\Delta y}{\Delta t \cdot \Delta x}, \quad (4.4)$$

де $\bar{k}$ називають умовним коефіцієнтом передачі.

Постійна часу (умовна) приймається рівною:

$$T = 1 / \bar{k} \quad (4.5)$$

Величина запізнення об'єкта (τ) визначається, як показано на рис. 4.5 а.

Другий підхід до обробки кривої розгону, запропонований [3], показано на рис. 4.5 б.

Параметри τ і T знаходять графічно, а умовний коефіцієнт передачі об'єкта розраховують за виразом:

$$\bar{k} = T \frac{\Delta y}{\Delta t \cdot \Delta x} \quad (4.6)$$

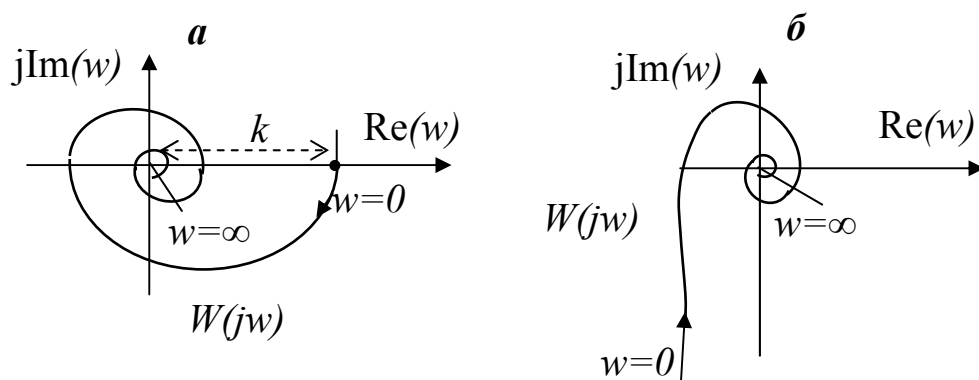


Рис. 4.6. АФЧХ статичного (а) і астатичного об'єкта (б).

Підводячи підсумки щодо властивостей статичних і астатичних об'єктів, потрібно звернути увагу на принципово різні амплітудно-фазово-частотні їх характеристики (рис. 4.6).

Годограф АФЧХ астатичного об'єкта з транспортним запізненням при $w=0$ рівний нескінченності, що негативно позначається на стійкості всієї системи регулювання, яка містить даний об'єкт. Нижче ми розглянемо це докладніше.

Характерною особливістю об'єктів регулювання є розподіл їх параметрів у просторі. Інколи він незначний, тоді можна припустити, що параметри об'єкта зосереджені в одній точці – це об'єкти із зосередженими параметрами. У протилежному випадку виділяють об'єкти із розподіленими параметрами. Для зосереджених об'єктів змінні, що описують поведінку об'єкта, змінюються тільки в часі. Для об'єкта з розподіленими параметрами – і у часі, і у просторі. Прикладом об'єктів з розподіленими параметрами може бути довга лінія електропередач, магістральні газо-, нафто- та продуктопроводи тощо. У збагаченні корисних копалин об'єкти головним чином можна уявляти такими, що мають зосереджені параметри.

Виключення становлять ті випадки, коли довжина хвилі гармонік збурення менша або співвимірна з геометричними характеристиками збагачувальної машини. Крім того, машини треба розглядати як об'єкти з розподіленими параметрами, коли треба враховувати розподіл характеристик по довжині об'єкта.

Контрольні запитання:

1. Дайте характеристику об'єкта з двома вихідними параметрами.
2. Розкрийте класифікацію об'єктів за динамічними властивостями.
3. Визначте за кривою розгону статичного об'єкта передавальну функцію.
4. Розкрийте спосіб обробки кривої розгону астатичного об'єкта.
5. Охарактеризуйте АФЧХ статичного і астатичного об'єкта.