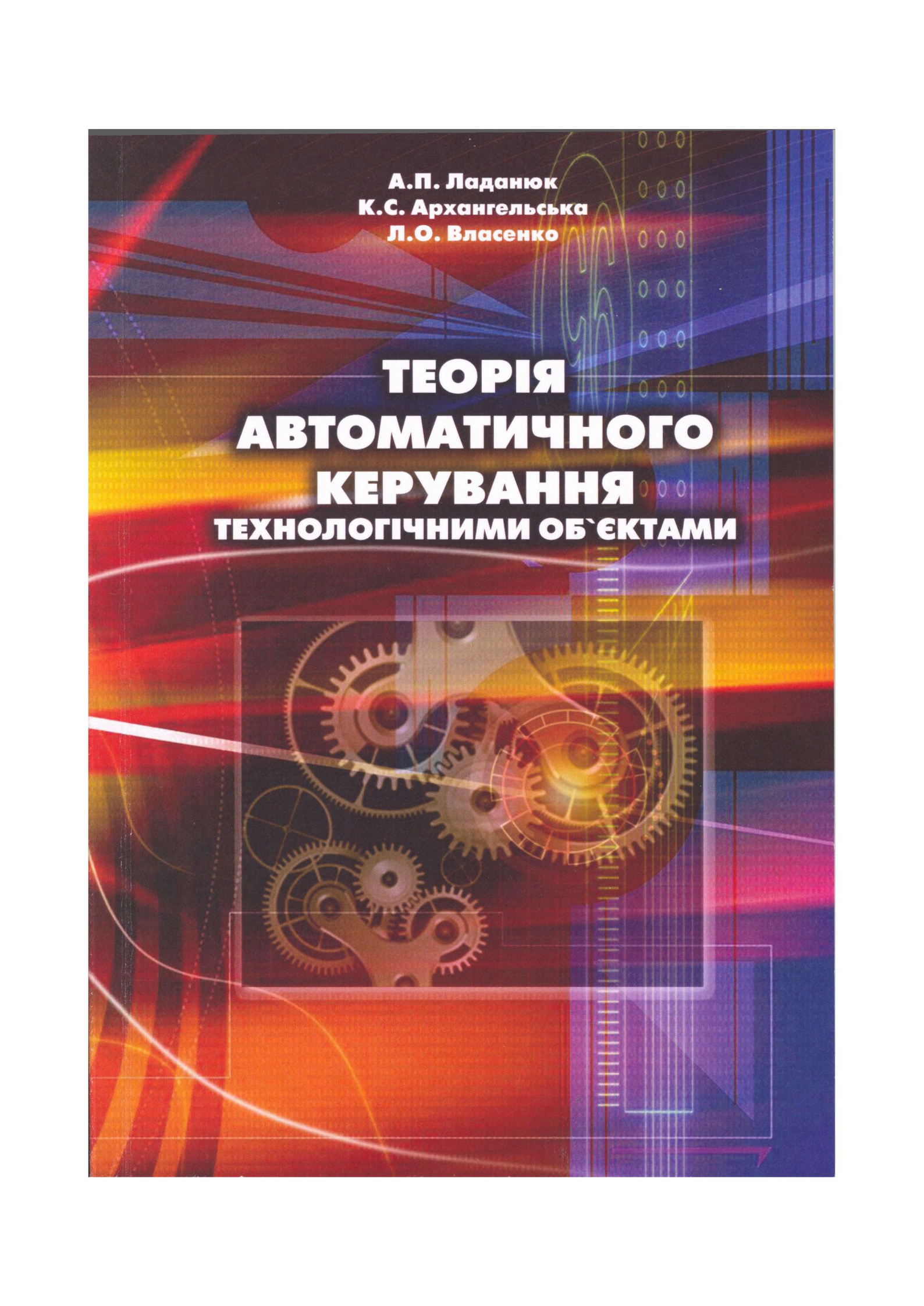




**А.П. Ладанюк
К.С. Архангельська
Л.О. Власенко**

ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

А.П. ЛАДАНОК
К.С. АРХАНГЕЛЬСЬКА
Л.О. ВЛАСЕНКО

**ТЕОРІЯ
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ**

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки
України як навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів, які навчаються
за напрямом підготовки «Автоматизація
та комп'ютерно-інтегровані технології»*

Київ НУХТ 2014

УДК 519.068(075.8)

Гриф надано Міністерством освіти
і науки України
(лист №1/11-8522 від 20.05.2013 р.)

Рецензенти:

О.І. Стасюк, д-р техн. наук, проф., лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (Державний економіко-технологічний університет транспорту);

В.М. Казак, д-р техн. наук, проф. (Національний авіаційний університет)

Ладанюк А.П., Архангельська К.С., Власенко Л.О. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами: Навч. посіб. / — К.: НУХТ, 2014. — 274 с.

ISBN 978-966-612-150-2

Викладені основні положення класичної та сучасної теорії автоматичного керування, її принципи, математичний апарат та методи дослідження; розглядаються класи систем автоматичного керування: лінійні, нелінійні, дискретні, адаптивні, оптимальні, багатоконтурні тощо. Наведено приклади використання класів систем для технологічних об'єктів.

Для студентів напряму «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» вищих навчальних закладів. Може бути корисний для спеціалістів, які займаються проблемами створення та експлуатації систем управління.

Видано в авторській редакції

ISBN 978-966-612-150-2

УДК 519.068(075.8)

© А.П. Ладанюк,
К.С. Архангельська,
Л.О. Власенко, 2014
© НУХТ, 2014

*Присвячено 130-річчю
Національного університету
харчових технологій*

ВСТУП

Теорія автоматичного керування (ТАК) — наукова дисципліна, предметом вивчення якої є системи, які складаються з об'єкта та пристрою керування (автоматичного регулятора) і допоміжних елементів. ТАК виявляє загальні закономірності функціонування, які притаманні автоматичним системам різної природи, і на основі цього розробляє принципи побудови ефективних систем для керування об'єктами різного призначення. При вивченні процесів керування в ТАК абстрагуються від фізичних та конструктивних особливостей систем і замість реальних систем розглядаються їх адекватні математичні моделі. За допомогою цих моделей розв'язуються основні задачі ТАК — аналізу та синтезу автоматичних систем. При цьому широко використовуються математичні методи — теорія диференціальних рівнянь, теорія функцій комплексної змінної, перетворення Лапласа і Фур'є, матриці і т.д.

Посібник відповідає робочій програмі навчальної дисципліни «Теорія автоматичного керування», яка читається студентам напряму підготовки фахівців 6050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Теорія автоматичного керування — одна з базових навчальних дисциплін, яка формує у студентів знання про загальні принципи і процеси функціонування автоматичних систем керування.

Мета дисципліни — формування у студентів знань, умінь та навичок з розв'язання задач аналізу та синтезу автоматичних систем керування за умов діяння детермінованих та випадкових збурень.

Студент повинен знати:

- фундаментальні принципи побудови систем керування, їх класифікацію за основними ознаками, особливості розімкнених та замкнених систем, роль зворотного зв'язку;
- методику математичного опису автоматичних систем з простими об'єктами, методи лінеаризації статичних характеристик елементів системи та складання рівнянь статички і динаміки;
- форми опису та подання динамічних властивостей елементів та систем — диференціальні рівняння, передаточні функції, частотні та часові характеристики;
- властивості динамічних елементарних ланок, типові схеми їх з'єднання;
- правила перетворення структурних схем, отримання еквівалентних передаточних функцій для замкнених автоматичних систем регулювання;

- методи оцінки стійкості автоматичних систем регулювання (АСР), критерії стійкості, визначення областей стійкості;
- показники та критерії якості перехідних процесів в системі;
- методи синтезу систем із заданими показниками якості та оптимізації параметрів налаштувань автоматичних регуляторів;
- методи аналізу дискретних систем, оцінки їх якості;
- характеристики та показники якості АСР при дії випадкових сигналів;
- особливості та характеристики нелінійних систем, застосування методу фазового простору до їх аналізу, методи лінеаризації та оцінки стійкості та якості перехідних процесів;
- характеристики та область застосування спеціальних систем: із запізненням, нестационарних, з розподіленими параметрами;
- властивості оптимальних та адаптивних систем.

Студенти повинні вміти:

- розробити алгоритмічну структуру АСР, скласти її математичну модель, визначити передаточні функції за основними діями;
- оцінити стійкість та якість перехідних процесів систем, вплив параметрів автоматичних регуляторів та властивості АСР;
- розрахувати оптимальні налаштування автоматичних регуляторів;
- оцінити показники процесу керування при дії випадкових збурень;
- застосовувати методи гармонічної та статистичної лінеаризації;
- застосовувати методи оптимізації та адаптації при створенні автоматичних систем.

Дисципліна «Теорія автоматичного керування» формує у майбутніх фахівців системне мислення та цілісне уявлення щодо явищ світу техніки, соціального середовища, синтезує знання студентів з математики, фізики і інших природничих дисциплін, надає наочні приклади їх конструктивного застосування.

Історично прикладні та теоретичні дослідження в області автоматичного керування можна поділити на дві частини: класичну теорію автоматичного регулювання (ТАР) та сучасну теорію автоматичного управління (СТАУ). ТАР виникла у зв'язку з потребами практики для автоматизації простих об'єктів з використанням лінійних (лінеаризованих) математичних моделей, тому класичну ТАР називають лінійною. Характерною особливістю ТАР є конкретне застосування методів та технічних засобів. Так першим промисловим регулятором вважається поплавковий регулятор рівня води у барабані парового котла І.І. Ползунова (1763 р.). В 1782 р. Джеймс Уотт запропонував центробіжний регулятор швидкості парової машини. Обидва об'єкти: паровий котел і парова машина без автоматичних регуляторів функціонувати не могли.

СТАУ характеризується дослідженням властивостей та створенням систем автоматизації для складних об'єктів на основі нелінійних та спеціальних математичних моделей, використанням спеціальних регуляторів (адаптивних, робастних), поєднанням регулярних методів та якісної інформації, застосуванням новітніх комп'ютерних технологій та інтелектуальних методів.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

1.1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ТЕРМІНИ

Термін «керування» (вживається також «управління») охоплює надзвичайно широке коло понять, що викликано різною природою об'єктів, наприклад керування технологічним процесом, підприємством чи державою. Крім того, під керуванням (управлінням) розуміють також командування військами, керування транспортними засобами (судном, літаком, автомобілем), диригування оркестром і інш. З цієї точки зору ТАК — частина кібернетики, яка вивчає процеси використання інформації і управління в системах різної фізичної природи.

Автоматизація виробництва — один з важливих факторів науково-технічного процесу, за рахунок якої відбувається інтенсифікація процесів випуску продукції та зменшення витрат енергетичних та матеріальних ресурсів. Сучасні системи керування мають складну багаторівневу (ієрархічну) структуру, в якій використовуються обчислювальні мережі різного рівня на основі ЕОМ та мікропроцесорних засобів. У посібнику розглядаються локальні системи автоматичного регулювання, які призначені для підтримання необхідних технологічних режимів, які характеризуються певним набором значень технологічних змінних — температури, рівня, тиску, концентрації та ін. Розглядаються також питання оптимізації технологічних режимів та можливості пристосування (адаптації) систем до змінюваних умов роботи. Для складних технологічних об'єктів розробляються системи керування, які також мають достатньо складну структуру і розвинені зв'язки між окремими частинами (елементами).

Автоматика — технічна наука, яка розробляє принципи побудови автоматичних систем та необхідних для них засобів, методи аналізу і синтезу цих систем.

Автоматизація — застосування автоматичних законів для виконання функцій керування (управління).

Керування технічним процесом — цілеспрямована діяльність, направлена на досягнення бажаних результатів (отримання прибутку, мінімальної собівартості продукції, забезпечення її якості) на основі отримання та обробки інформації про стан об'єкта та умови його роботи. В процесі керування виконується ряд операцій, які відповідають таким етапам:

- збирання (отримання) інформації про стан об'єкта та зовнішнє середовище;
- аналіз та обробка інформації;
- прийняття рішень на основі необхідної інформації;
- реалізація керуючих дій за допомогою технічних засобів.

Виконання цих операцій забезпечує автоматичний контроль процесу, пуск та зупинку технологічних агрегатів, підтримання необхідних режимів при виконанні вимог надійності та стійкості.

Система автоматичного керування (управління) — сукупність об'єкта та автоматичного пристрою керування.

Автоматизована система керування передбачає участь у формуванні керуючих дій людини (особи, яка приймає рішення — ОПР). Автоматизовані системи створюються для складних об'єктів, де участь людини в прийнятті рішень є визначальною, а для цього необхідно отримати та переробити великі масиви інформації за допомогою спеціальних пристроїв та методів.

Автоматичні системи забезпечують виконання всіх функцій керування без участі людини (автоматично), але для обслуговування, ремонту та налагодження потрібні кваліфіковані спеціалісти.

Автоматичні системи регулювання (АСР) — сукупність об'єкта та пристрою керування (автоматичного регулятора), процес функціонування яких характеризується тим, що відомі задані значення регульованих координат $x_{ад}(t)$. Допускається також термін «системи автоматичного регулювання» (САР). Далі буде показано, що в процесі регулювання повинна виконуватись вимога $x(t) \rightarrow x_{ад}(t)$, $x(t)$ — поточне значення регульованої координати.

Об'єкт керування (регулювання, автоматизації, керований об'єкт) — технологічний процес, агрегат або комплекс, призначений для здійснення впливу на сировину, матеріали для отримання продукту чи напівпродукту. В складних системах керування об'єктом може бути виробництво, підприємство, галузь промисловості. В будь-якому випадку для досягнення мети функціонування необхідно сформувати керуючі дії, які компенсують небажані відхилення від обраного режиму. Зрозуміло, що об'єкти можуть бути різної природи, мають різне призначення, виконувати різні функції. В той же час система керування створюється саме для об'єкта, тому його властивості визначають основні характеристики системи керування — її структуру, функції, показники стійкості та якості. Таким чином, саме об'єкт визначає призначення системи керування, наприклад: автоматизована система керування підприємством, автоматична система керування випарною установкою, автоматична система регулювання температури і т.д.

Для об'єктів керування можна виділити такі змінні (рис. 1.1.):

– координати стану, які визначають стан об'єкта в будь-який момент часу, для АСР — це регульовані координати:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}^T;$$

T — символ транспонування;

– вихідні змінні, які характеризують якість продукту, продуктивність об'єкта або узагальнені показники, наприклад, коефіцієнт корисної дії, питомі витрати матеріалів і енергії та ін.,

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_r\}^T;$$

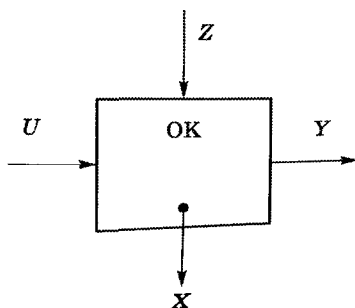


Рис. 1.1. Схема об'єкта

– збурення — зовнішні та внутрішні фактори, вплив яких порушує роботу об'єкта: змінювання характеристик зовнішнього середовища, параметрів енергоносіїв, якості сировини та ін., $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_l\}^T$;

– керуючі дії — цілеспрямовані змінювання матеріальних та енергетичних потоків, направлені на компенсацію збурень z , $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}^T$. В складних системах керуючі дії можуть передбачати змінювання структури, або навіть кадрові перестановки.

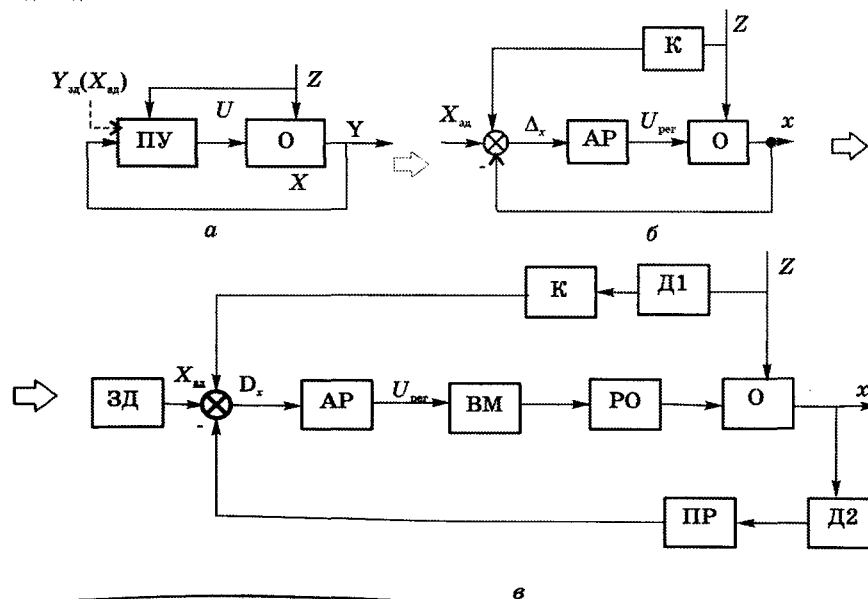
Для АСР часто приймається умова $x = y$.

Вектори X, Y, Z, U можуть мати довільну кількість складових, а в частинному випадку це — скалярні величини.

Автоматичний регулятор — технічний засіб, який реалізує керуючі діяння в залежності від стану об'єкта та зовнішнього середовища: $U_{\text{рег}} = f(x, z, t)$. Автоматичний регулятор реалізується також програмним шляхом в мікропроцесорних контролерах або ЕОМ. В складних системах функції керування виконують різні регулятори або спеціальні пристрої.

1.2. КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

На рис. 1.2 а,б,в показані структури систем керування з різним ступенем деталізації та виділення різних пристроїв і елементів. Загальним в цих структурах є те, що пристрої управління ПУ чи автоматичний регулятор АР отримує сигнал про стан об'єкта X або його вихідну змінну Y і формує керуючу дію U . Для схеми, показаної на рис. 1.2.а., характерним є те, що задані значення $y_{\text{ад}}, x_{\text{ад}}$ можуть формуватись безпосередньо в пристрої управління.



1.2. Структура систем керування

Схема б) показує сигнали об'єкта О та автоматичного регулятора АР, що дає можливість описати процес функціонування автоматичної системи регулювання, а саме: на регулятор поступає сигнал $\Delta x = x_{зд} - x(t)$, який характеризує порушення режиму роботи об'єкта. Автоматичний регулятор може враховувати додатковий сигнал від компенсатора К про збурення Z. Тоді автоматичний регулятор повинен сформувавши такий сигнал $U_{рег} = f(\Delta x, Z, t)$, який компенсував би дію збурення Z або принаймні зменшив його вплив на роботу об'єкта, тобто необхідно, щоб $\Delta x = x_{зд} - x(t) \rightarrow 0$. Приймається, що $x_{зд} = \text{const}$ на тривалому періоді керування, але є клас систем де $x_{зд}(t)$ змінюється ($x_{зд} - \text{var}$), тоді записують: $x_{зд}(t)$ t — час. В системах керування виділяють:

- алгоритм функціонування — сукупність визначених дій, які забезпечують правильне функціонування системи (відповідає на запитання: що необхідно знати для досягнення мети?), цей алгоритм, як правило, є заданим;

- алгоритм керування — сукупність визначених дій, які забезпечують потрібний характер дій для здійснення алгоритму функціонування (відповідає на запитання: як необхідно діяти?).

Автоматична система керування структурно може подаватись по-різному. **Структура** — це сукупність частин системи, на які вона може поділятися за певними ознаками, та зв'язків між ними. Виділяють такі види структур:

алгоритмічна — сукупність частин, призначених для виконання алгоритмів перетворення інформації у відповідності до алгоритма функціонування;

функціональна — сукупність частин, призначених для виконання окремих функцій системи (отримання інформації, її перетворення, передача сигналів і ін.);

конструктивна (технічна) — сукупність частин як окремих конструктивних елементів.

На рис. 1.2.в додатково показано: Зд — пристрій для формування $x_{зд}$, Д1, Д2 — датчики; ВМ — виконавчий механізм; РО — регулюючий орган; ПР — перетворювач.

Системи автоматичного керування можуть класифікуватись за різними ознаками, для подальшого викладення матеріалу доцільно виділити такі їх класи: **розімкнені, замкнені, комбіновані системи**. На рис. 1.2 показано, що на пристрій керування поступає інформація про $x_{зд}(t)$, x та Z , але можливі і частинні випадки. В розімкнених системах відсутня інформація про фактичне значення регульованої координати x , відсутній зворотній зв'язок. При цьому можуть бути різні варіанти, а саме: поступає сигнал від $x_{зд}$ або від Z , чи обидва одночасно, однак при керуванні в розімкненій системі за $x_{зд}$ повинна бути впевненість, що регульована координата буде відтворювати $x_{зд}$

$(x(t) \rightarrow x_{\text{ад}}(t))$, а це можливо лише за умови, що властивості об'єкта не змінюються. Ознакою класифікації в даному випадку є напрям передачі інформації: в розімкнених системах інформація передається в одному напрямку (від пристрою завдання і регулятора до об'єкта), в замкнених та комбінованих системах є зворотній зв'язок. Це універсальна властивість таких систем керування, що й визначає їх широке застосування.

Системи з різними видами алгоритму функціонування. Сюди відносяться автоматичні системи регулювання, серед яких можна виділити:

- системи стабілізації, для яких $x_{\text{ад}}$ залишається постійним на визначеному інтервалі часу, тоді:

$$x(t) = x_{\text{ад}}, \forall t \in [0, T]; \quad (1.1)$$

- системи програмного регулювання, коли $x_{\text{ад}}$ визначається програмно і змінюється, наприклад, за часом. Такі системи часто застосовуються для керування періодичними процесами;

- системи слідування (слідкуючі системи), коли $x_{\text{ад}}$ є змінним, наперед не заданим і невідомим та залежить від змін іншої величини, тобто система «слідкує» за змінами, які характеризують режим роботи об'єкта.

Одно- та багатовимірні системи. Ця ознака передбачає виділення класів систем за кількістю вихідних змінних об'єкта. Тут виділяються ще два підкласи для багатовимірних систем:

- системи незв'язаного регулювання, коли є кілька регульованих координат x і відповідних автоматичних регуляторів, які не зв'язані між собою і утворюють сепаратні (незалежні) контури. В той же час регульовані координати можуть бути зв'язаними через об'єкт;

- системи зв'язаного регулювання, коли автоматичні регулятори для різних x зв'язані додатковими зв'язками, за рахунок чого досягається автономність регулювання окремих X .

Лінійні та нелінійні системи. Основними методами дослідження автоматичних систем є їх математичне моделювання. Математичні моделі реальних систем повинні з необхідною точністю відобразити їх характеристики, що приводить до складних нелінійних залежностей. В складі реальних систем є завжди елементи з нелінійними характеристиками. З математичної точки зору наявність нелінійних залежностей не дозволяє отримати загальні розв'язки задач аналізу та синтезу, значно ускладнює дослідження систем. В теорії автоматичного керування найбільш повно розроблені методи дослідження лінійних систем, хоча це є певною ідеалізацією. Системи називають:

- *лінійними*, якщо вони описуються лінійними залежностями. Для таких систем виконується принцип суперпозиції (накладання): реакція системи на будь-яку комбінацію зовнішніх діянь дорівнює сумі реакцій

на кожне з них, прикладених окремо. Це відповідає адитивній функції, наприклад:

$$x(U, Z) = x(U) + x(Z) \quad (1.2)$$

– *нелінійними*, якщо в їх складі є хоча б один елемент з нелінійними характеристиками.

Для спрощення задач аналізу і синтезу виконують *лінеаризацію* нелінійних характеристик, що дає можливість замінити реальну нелінійну систему еквівалентною лінійною (лінеаризованою).

Стаціонарні і нестаціонарні системи. В процесі функціонування системи відбуваються змінювання характеристик не лише зовнішнього середовища, а й окремих їх частин, тому виділяють:

– *стаціонарні системи*, параметри та характеристики яких не змінюються з часом. Динаміка таких систем описується диференціальними рівняннями з постійними коефіцієнтами;

– *нестаціонарні системи*, в яких змінюються характеристики та параметри з часом, а поведінка цих систем в динаміці описується диференціальними рівняннями із змінними коефіцієнтами, значення яких залежить від часу. При дослідженні цих систем необхідно враховувати не лише величину збурення, а й момент його прикладання.

Системи неперервної та дискретної дії. За характером зміни сигналів системи діляться на:

– неперервної дії (неперервні, аналогові), всі сигнали в яких є неперервними функціями часу;

– дискретної дії (дискретні), в яких є елементи, що перетворюють неперервні сигнали в стрибкоподібні або послідовність імпульсів (релейні, імпульсні, цифрові).

Екстремальні, адаптивні та оптимальні системи. В системах керування функціонують об'єкти, статичні характеристики яких можуть мати точку екстремуму, в якій досягаються найвищі техніко-економічні показники роботи. За допомогою спеціальних керуючих дій система підтримує режим роботи об'єкта в околі екстремальної точки, яка змінює своє положення з часом. Такі системи називають *екстремальними*. *Адаптивні* системи мають властивість пристосовування до змінюваних характеристик зовнішнього середовища та параметрів об'єкта. Це відбувається за рахунок змінювання структури системи та (чи) параметрів окремих її частин. *Оптимальні* системи призначені для досягнення найкращих результатів роботи протягом певного часу у відповідності з критерієм оптимальності (керування) в конкретних умовах з урахуванням існуючих ресурсів та обмежень. Це найбільш складні системи, в яких використовуються спеціальні математичні методи, а для їх реалізації потрібні ЕОМ з відповідним програмним забезпеченням.

АСР можуть класифікуватись і за іншими ознаками, наприклад, за енергетичними.

1.3. ПРИНЦИПИ КЕРУВАННЯ ТА ЇХ ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

При створенні різних систем автоматичного керування для об'єктів різної природи та призначення використовуються загальні принципи:

- **за відхиленням**. На рис. 1.2. б це відповідає структурі, яка складається з автоматичного регулятора та об'єкта, охоплених від'ємним зворотнім зв'язком (сигнал за збуренням Z на АР не подається). Це найбільш поширений принцип керування, дякуючи його універсальності: з якої б причини не відбулось відхилення $\Delta x = x_{зд} - x(t)$, автоматичний регулятор формує сигнал U_{per} , який поступає на об'єкт і зменшує похибку ΔX . Такий зворотній зв'язок називають *головним*. В той же час в цьому принципі закладено його основний недолік: автоматичний регулятор починає працювати лише після появи значного відхилення $\Delta X \neq 0$.

- **за збуренням** (на рис. 1.2. б це відповідає відсутності зворотнього зв'язку). В цьому випадку автоматичний регулятор розпочинає свою роботу одразу після виникнення збурення Z , ще до появи ΔX , але проблема полягає в тому, що реалізація цього принципу вимагає вимірювання всіх без винятку збурень, а це практично неможливо. Застосування цього принципу обмежується тими випадками, коли процес функціонування об'єкта визначається незначною кількістю збурень, які можна вимірювати та використовувати для керування;

- **комбінований** (це відповідає структурі, зображеній на рис. 1.2. б). При реалізації цього принципу обирається одне (або два — три) найбільш суттєве збурення, яке можна виміряти і перетворити за допомогою компенсатора K . Це дає можливість виконати умову *інваріантності* (незалежності) регульованої координати x від збурення Z , тоді ΔX тотожно дорівнює нулю ($\Delta x \equiv 0$). Ця частина системи називається розімкненим контуром, і він є головним. Дію невимірюваних збурень, які завжди є в системі, компенсує допоміжний замкнений контур за відхиленням. Комбіновані системи дають можливість забезпечити необхідну якість процесу керування, але виникають проблеми щодо їх синтезу, зокрема з виконанням вимог фізичної реалізуємості для складних об'єктів;

- **адаптації**, коли система сама має можливість пристосуватись до змінюваних умов роботи, що вимагає застосування складних алгоритмів та ЕОМ при їх реалізації;

Для оцінки працездатності автоматичних систем керування використовуються різні показники, але загальними вимогами є:

- **стійкість**, це необхідна але не достатня умова, яка означає можливість повернення системи в початковий стан після того, як була порушена її рівновага. Для автоматичних систем регулювання це означає збіжність перехідних процесів, тобто обмежений час їх тривалості. Оцінку стійкості АСР проводять на початкових етапах аналізу і синтезу і нестійка система не може застосовуватись. Часто

для забезпечення стійкості необхідно змінити структуру системи або значення параметрів її елементів, в першу чергу автоматичних регуляторів. Для реальних систем повинна забезпечуватись також додаткова вимога — запасу стійкості при роботі в різних умовах;

— *якість*, що для АСР характеризується якістю перехідних процесів: відхилення від заданого режиму в статичі та динаміці, коливальність і тривалість перехідних процесів. Часто якість перехідних процесів оцінюють інтегральними показниками:

$$I_1 = \int_0^{t_n} \Delta x dt \rightarrow \min, \quad (1.3)$$

або

$$I_2 = \int_0^{t_n} (\Delta x)^2 dt \rightarrow \min, \quad (1.4)$$

де: $\Delta x = x_{зд} - x$, t_n — час перехідного процесу. Таким чином, оцінка якості перехідних процесів АСР дає можливість оцінити остаточно її працездатність та можливість застосування в конкретних умовах;

— *надійність*, яка доповнюється додатковими вимогами щодо вартості, зручності науково-технічного рівня і т.д.

1.4. КОРОТКІ ІСТОРИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО РОЗВИТОК ТЕОРІЇ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Теорія автоматичного керування (ТАК) — одна із наукових дисциплін, які складають загальну теорію управління (керування), тому останнім часом об'єктами керування є не лише системи технічної, а й організаційно-економічної, біологічної та ін. природи. Одними з перших автоматичних пристроїв були годинники. Ще в 1657р. Гюйгенс запровадив маятниковий регулятор ходу годинника. Автоматизація, розробка та впровадження автоматичних пристроїв і систем завжди були потребою практики, і сьогодні жодна сучасна конструкція не обходиться без автоматичних пристроїв — від побутових приладів до космічних станцій.

В середні віки застосовувались регулятори руху водяних млинів з центробіжними маятниковими елементами. Розвиток промислових регуляторів ознаменувався рядом винаходів на рубежі XVIII і XIX століть в епоху промислового перевороту в Європі. В 1765р. І.І. Ползунов побудував перший промисловий автоматичний регулятор — поплавковий регулятор живлення котла парової машини. В 1784р. англійський механік Дж. Уатт отримав патент на центробіжний регулятор швидкості парової машини. Ці регулятори дали можливість ефективно використовувати важливі об'єкти — парові котли та машини, які потребували керування в процесі роботи. Автоматичний регулятор І.І. Ползунова працював за відхиленням, а пізніше появились автоматичні регулятори з дією за похідною (брати Сіменс), за навантаженням (Ж. Понселе), імпульсні регулятори та ін. Характерним було те, що парові котли і машини не могли

працювати без пристроїв автоматизації, і в 1823 р. появилась перша робота, присвячена аналізу властивостей парової машини як об'єкта керування (Д.С. Чижев).

До 60-х років XIX ст. не було системного підходу до створення систем керування, регулятори та об'єкти розглядались ізольовано, і лише роботи Д.К. Максвела «Про регулятори»(1866р.), І.А. Вишнеградського «Про загальну теорію регуляторів»(1876р.), «Про регулятори прямої дії»(1877р.) дали можливість закласти основи нової наукової дисципліни — теорії автоматичного керування.

Значне місце в теорії автоматичного керування займають праці словацького вченого А. Стодоли, М.Є. Жуковського — автора першого в Росії підручника «Теорія регулювання ходу машини» (1909р.). До сьогодні використовуються положення загальної теорії стійкості, які сформував в 1896р. О.М. Ляпунов, та критерій стійкості Рауса-Гурвіца (1870-ті роки). Загального визнання набули частотні методи: в 1932р. американський вчений Х. Найквіст запропонував критерій стійкості радіотехнічних підсилювачів із зворотнім зв'язком, заснований на властивостях частотної характеристики розімкненої системи, в 1934р. О.В. Михайлов опублікував наукову працю «Гармонічний метод в теорії регулювання» і запропонував свій критерій стійкості. В 1946р. Г. Боде та Л. Мак-Кол ввели логарифмічні частотні характеристики.

Праці Г.В. Щіпанова, В.С. Кулебакіна, Б.М. Петрова, О.І. Кухтенка заклали основи теорії автоматичного керування за збуреннями, теорії інваріантності.

Сучасна теорія автоматичного керування відрізняється від класичної тим, що в ній розглядаються питання синтезу оптимальних та адаптивних систем, методи простору станів, синтез робастних регуляторів, теорія катастроф і хаосу та ін.

В розвиток сучасної теорії керування внесли свій вклад українські вчені — О.І. Кухтенко, В.М. Глушков, В.М. Кунцевич, В.І. Костюк.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення поняття «система автоматичного керування».
2. В чому полягає процес функціонування системи автоматичного керування?
3. Поясніть основні терміни «система», «об'єкт», «регулятор» і ін.
4. Наведіть приклади класифікації систем автоматичного керування.
5. З яких елементів складається автоматична система регулювання (АСР)?
6. Дайте порівняльну характеристику принципам керування.
7. Перерахуйте основні вимоги до АСР.
8. Назвіть основні відомості з історії розвитку теорії управління.