**Міністерство освіти і науки України**

**Національна металургійна академія України**



**РОБОЧА ПРОГРАМА ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**ДЛЯ ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ**

**із дисципліни «Автоматичне регулювання та управлiння технологiчними процесами у виробництвi ТГН та силiкатних матерiалiв» для студентів заочного факультету, які**

**навчаються за напрямом 7.05130104 – Хімічні технології**

**тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів**

Дніпропетровськ НМетАУ 2013

**УДК 66.012-52**

Головко В.І., Верховська А.О. Робоча програма та методичні вказівки для виконання індивідуального завдання із дисципліни «Автоматичне регулювання та управлiння технологiчними процесами у виробництвi ТГН та силiкатних матерiалiв»: Учбовий посібник. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – 51 с.

Викладені основні питання особливостей побудови автоматизованих систем регулювання та управління технологічними процесами у виробництві ТГН та силікатних матеріалів, склад і вимоги до технічних засобів АСУТП, наведені довідкові матеріали щодо виконання індивідуального завдання.

Призначено для студентів заочного факультету, які навчаються за напрямом 7.05130104 – Хімічні технології тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів.

# Друкується за авторською редакцією

Укладачі: В.І. Головко, докт. техн. наук, проф.

А.О. Верховська, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний за випуск: О.П. Єгоров, канд. техн. наук, доц.

Рецензенти:   О.М. Кукушкін, докт. техн. наук, проф. (НМетАУ)

© Національна металургійна

академія України

**З М І С Т**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Робоча програма дисципліни | 4 |
|  | Характеристика дисципліни | 5 |
|  | Зміст дисципліни | 7 |
|  | Методичні вказівки по вивченню дисципліни | 10 |
| 1 | Автоматизація виробничих процесів  1.1 Процес управління  1.2 Необхідність автоматизації сучасного виробництва  1.3 Особливості металургійних об'єктів автоматизації  1.4 Передумови успішної автоматизації  1.5 Економічна оцінка ефективності автоматизації  1.6 Основні вимоги до автоматизації | 10  10  11  11  12  13  15 |
| 2  3  4 | Перехідні процеси й оцінка їхньої якості  2.1 Статичний й динамічний стани системи  2.2 Види перехідних процесів  2.3 Типові впливи на об'єкт  2.4 Оцінка якості процесу управління  Типові динамічні ланки  3.1 Властивості типових динамічних ланок  3.2 Передатна функція  3.3 Динамічні ланки першого порядку  3.4 Класифікація динамічних ланок другого порядку  3.5 Передатні функції з'єднань динамічних ланок  Автоматичні регулюючі пристрої  4.1 Типові оптимальні перехідні процеси регулювання  4.2 Закони регулювання й автоматичні регулятори | 15  15  16  17  19  22  22  23  24  31  34  37  38  39 |
|  | Індивідуальне завдання  Варіанти теоретичних питань Перелік теоретичних питань | 44  48  49 |

**Робоча програма дисципліни**

# **Розподіл навчальних годин (денна та заочна форма навчання)**

|  | денна форма | заочна  форма |
| --- | --- | --- |
| **Усього годин за навчальним планом** | 72 | 72 |
| у тому числі: Аудиторні заняття | 16 | 16 |
| з них:  лекції | 16 | 8 |
| лабораторні роботи | 0 | 0 |
| практичні заняття | 0 | 8 |
| семінарські заняття | 0 | 0 |
| Самостійна робота | 56 | 56 |
| у тому числі при :  підготовці до аудиторних занять | 8 | 8 |
| підготовці до модульних контрольних робіт | 18 | 18 |
| виконанні курсових проектів (робіт) | 0 | 0 |
| виконанні індивідуальних завдань | 0 | 0 |
| опрацюванні розділів програми, які не викладаються на лекціях | 30 | 30 |
| Підсумковий контроль | диф.  залік | екзамен |

# **Характеристика дисципліни**

Навчальна дисципліна «Автоматичне регулювання та управлiння технологiчними процесами у виробництвi ТГН та силiкатних матерiалiв» нормативною і входить до циклу дисциплін професійно-практичноі підготовки спеціалістів та магістрів за спеціальністю 7.05130104 – Хімічні технології тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів.

***Мета вивчення дисципліни*** – засвоєння знань та набуття необхідних навичок щодо дій, пов`язаних з розробкою АСР технологічних процесів у виробництві ТГН та силікатних матеріалів.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен:

***знати:***

* технологічні особливості основних агрегатів, що використовуються у виробництві ТГН та силікатних матеріалів, як технологічних об`єктів керування;
* основні  збурення та управляючі впливи на процеси, що стосуються виробництва ТГН та силікатних матеріалів;
* структуру та функції АСУТП у виробництві ТГН та силікатних матеріалів;

***вміти:***

* розробляти технічне завдання на АСУТП;

- використовуючи аналіз конструктивних і технологічних особливостей ТОУ та його технологічного регламенту, вибрати змінні управління;

- визначити основні збурення та можливість їх компенсації за обраними каналами регулюючих дій;

- формулювати задачі автоматизації для технологічних об`єктів виробництва ТГН та силікатних матеріалів;

- розробляти інформаційне, математичне, програмне та технічне забезпечення АСУТП у виробництві ТГН та силікатних матеріалів;

- висувати обґрунтовані вимоги до якості та швидкодії АСР технологічних параметрів у виробництві ТГН та силікатних матеріалів;

- синтезувати структуру АСР та та укладати функціональні схеми автоматизації виробництва ТГН та силікатних матеріалів;

- аналізувати роботу АСР.

***Критерії успішності –*** отримання позитивної оцінки при виконанні індивідуального завдання та отримання позитивних оцінок з чотирьох модульних контрольних робіт.

### *Засоби діагностики успішності навчання –* комплект завдань і вихідні дані для виконання індивідуального завдання.

***Зв’язок з іншими курсами –*** вивчення матеріалу дисципліни базується на знаннях з «Виробничих процесів та обладнання об`єктів автоматизації», «Термодинаміки та теплотехніки», «Контролю та керування хіміко-технологічними процесами».

Набуті знання і вміння використовуються при вивченні дисципліни «Теплові процеси та агрегати в технології тугоплавких неметалевих та силікатних матеріалів», «Основи технології тугоплавких та силікатних матеріалів», «Процеси і апарати хімічної промисловості».

**Зміст дисципліни**

**Лекційний курс**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №№  тем | Назва розділу/теми та її зміст | Тривалість (годин),  література |
| **1** | **Призначення АСУТП**  Особливості теплоенергетичних процесів як об’єктів керування. Ієрархія задач керування. Призначення АСУТП. | **2 г.** лекц.  **5 г.** самост.  роботи **[1]** |
| **2** | **Класифікація АСУТП**  Інформаційні та керуючі функції АСУТП. Класифікація АСУТП. Структура і життєвий цикл АСУТП. | **2 г.** лекц.  **5 г.** самост.  роботи **[1,2]** |
| **3** | **Функціональна та організаційна структура АСУТП**  Схеми функціональної та організаційної структури АСУТП, елементи схем, їхній склад та правила читання. | **2 г.** лекц.  **5 г.** самост.  роботи **[2,3]** |
| **4** | **Технічне завдання на АСУТП**  Призначення та цілі створення АСУТП. Показники призначення. Вимоги до надійності АСУТП. Вимоги до захищеності технічних засобів від шкідливих впливів середовища. Вимоги до функцій АСУТП. | **2 г.** лекц.  **5 г.** самост.  роботи **[3]** |
| **5** | **Інформаційне забезпечення АСУТП**  Склад інформаційного забезпечення. Класифікація та опис сигналів в АСУ. Засоби введення-виведення сигналів. | **2 г.** лекц.  **5 г.** самост.  роботи **[3]** |
| **6** | **Математичне забезпечення АСУТП**  Види математичних моделей. | **2 г.** лекц.  **5 г.** самост.  роботи **[3]** |
| **7** | **Програмне забезпечення АСУТП**  Загальне та спеціальне програмне забезпечення. Особливості алгоритмів систем автоматизації. | **2 г.** лекц.  **5 г.** самост.  роботи **[3]** |
| **8** | **Вимоги до технічного забезпечення АСУТП**  Вимоги до технічного забезпечення АСУТП та умови їхнього використання для автоматизації теплоенергетичних процесів. | **2 г.** лекц.  **5 г.** самост.  роботи **[3]** |
| **9** | **Вимоги до технологічних процесів у виробництві ТГН та силікатних матеріалів**  Особливості та основні вимоги до технологічних процесів у виробництві ТГН та силікатних матеріалів. Методи оптимізації технологічних процесів виробництва, впровадження ресурсо- та енергозберігаючих технологій. | **2 г.** лекц.  **5 г.** самост.  роботи **[4]** |
| **10** | **Технічна структура та функції АСУ процесів у виробництві ТГН та силікатних матеріалів**  Основні технологічні процеси виробництва в`яжучих, керамічних, вогнетривких і скломатеріалів і виробів на їх основі. Параметри, які необхідно контролювати та регулювати при виробництві ТГН та силікатних матеріалів. Функції АСУТП виробництва ТГН та силікатних матеріалів. | **2 г.** лекц.  **5 г.** самост.  роботи **[5]** |
| **11** | **Статичне та динамічне управління процесами виробництва силікатів**  Математичні моделі статичного та динамічного управління, їх аналіз та методи адаптації за результатами виробництва. | **2 г.** лекц.  **5 г.** самост.  роботи **[6]** |
| **12** | **АСУ процесів виробництва ТГН та силікатних матеріалів**  Робота систем регулювання, сигналізації та блокувань. Інформаційна-керуюча система цеху виробництва кварцових труб. Каскадна система регулювання температури в скловарній печі. | **2 г.** лекц.  **5 г.** самост.  роботи **[7]** |

**Практичні заняття**

| №№  занять | Тема заняття | Тривалість (годин) |
| --- | --- | --- |
| **1** | **Укладання функціональних схем управління**  Укладання функціональних схем управління тепловим режимом обпалення ТГН матеріалів | **4** |
| **2** | **Укладання функціональних схем управління**  Укладання функціональних схем управління тепловим режимом обпалення силікатних матеріалів | **4** |

**Опрацювання розділів програми, які не викладаються на лекціях**

| №№  теми | Назва теми | Тривалість (годин) |
| --- | --- | --- |
| **1** | **Зниження матеріальних витрат у виробництві силікатних пористих бетонів**  Зниження матеріальних витрат у виробництві силікатних пористих бетонів [2, с. 161 – 166]. | **6** |
| **2** | **Зниження паливно-технічних витрат у виробництві силікатних пористих бетонів**  Зниження паливно-технічних витрат у виробництві силікатних пористих бетонів [2, с. 16 – 23]. | **9** |
| **3** | **Контроль добавок у виробництві керамічних матеріалів**  Контроль добавок у виробництві керамічних матеріалів та їх підготовка [3, с. 10 – 15]. | **15** |
| **4** | **Автоматичне перевантаження сирцю**  Автоматичне перевантаження сирцю на пічні вагони [3, с. 29 – 41]. | **6** |
| **5** | **Складання схем технологічних процесів**  Складання схем технологічних процесів виробництва силікатів. Основи проектування технологічних процесів виробництва силікатів. [1, с. 11-30] | **9** |
| **6** | **Автоматизація роботи скловарної печі**  Автоматизація роботи скловарної печі [4, с. 43-51] | **6** |
| **7** | **Датчики для управління процесами виробництва силікатів**  Методи та прилади контролю високих температур. Вимірювання довжини нагрітих тіл [2, с. 104-137] | **9** |

**Рекомендована література**

1. Щербина Г.С., Потап О.Ю., Єгоров О.П. Автоматизація виробничих процесів. Принципи побудови систем автоматизації: навчальний посібник. – НМетАУ, 2008. – 47 с.

2. Зейфман М.И. Изготовление силикатного кирпича и силикатных ячеистых материалов. Производственное издание. М.: Стройиздат, 1990. - 183 с.

3. Ассовский И .В., Кац М.Э. Автоматизация производства керамических стеновых материалов. А.: Стройиздат, 1976 - 80 с.

4. Лаптев В. И. Автоматический контроль и регулирование технологических параметров в производстве стеклотары. – М.: Легкая индустрия, 1977. – 151 с.

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ПО ВИВЧЕННЮ ДИСЦИПЛІНИ**

**1 АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ**

Технологічні процеси (ТП) являють собою впорядковану сукупність дій – операцій, які діляться на два основних види: робочі операції й операції управління.

*Робочі операції* – це дії, які пов'язані зі зміною форми й розмірів предмета праці (наприклад, деформація металу у валках прокатного стана), його енергетичного стану (нагрівання заготівлі перед прокаткою), положення в просторі (переміщення заготівлі рольгангом).

Для полегшення й удосконалення робочих операцій використовуються різні технічні пристрої, які частково або повністю заміняють людину в даній операції. Заміна праці людини в робочих операціях з метою звільнення його від фізично важкої, шкідливої й рутинної роботи називається *механізацією*.

**1.1 Процес управління**

Для правильного і якісного виконання робочих операцій необхідні супровідні їхні дії іншого роду – *операції управління*. *Так, наприклад, для здійснення робочої операції переміщення заготівлі краном необхідно визначити: у який момент почати виконання операції, на яку висоту підняти заготівлю, з якою швидкістю й по якій траєкторії її переміщати, у який момент і в якому місці її покласти.*

Сукупність управляючих операцій утворить *процес управління*.

На відміну від робочих операцій для здійснення операцій управління не потрібно великої кількості енергії, оскільки при виконанні цих операцій об'єктом є не речовина або енергія, а інформація, яку одержують, передають, обробляють, аналізують, фіксують тощо. Тому, управління – це, насамперед, *інформаційний процес*.

Операції управління також можуть виконуватися технічними пристроями. Заміна праці людини в операціях управління називається *автоматизацією*, а технічні пристрої, що виконують операції управління – *автоматичними пристроями*.

* 1. **Необхідність автоматизації сучасного виробництва**
* реалізація швидкоплинних процесів, управління якими вручну неможливо в силу обмежених фізіологічних можливостей людини;
* забезпечення високої точності технологічних процесів, що неможливо досягти при ручному управлінні;
* необхідність обробки більших обсягів інформації для аналізу взаємозв'язку параметрів при управлінні складними процесами;
* об'єктивність управління, незалежно від індивідуальних якостей людини-оператора, його кваліфікації, фізичного й психічного стану;
* необхідність дистанційного управління шкідливими й небезпечними технологічними процесами.
  1. **Особливості металургійних об'єктів автоматизації**

Особливості металургійних об'єктів обумовлені наступною виробничою специфікою:

1. Багатомірність – безліч факторів, що впливають на хід ТП.
2. Нелінійність, обумовлена складними взаємозв'язками факторів.
3. Розподіленність у просторі устаткування й предметів праці.
4. Інерційність – велике запізнювання збурювання й управління.
5. Складність й низька точність виміру технологічних параметрів через вплив потужних техногенних перешкод.
6. Вузький діапазон зміни факторів при пасивному експерименті.
7. Небажаність або неприпустимість активного експерименту.
8. Складність і дорожнеча фізичного моделювання. Необхідність врахування масштабного фактора.
9. Ймовірнісний характер більшості металургійних процесів.

Як наслідок, для металургії характерні обмеженість теоретичних уявлень і неповнота емпіричної інформації про процеси.

Тому автоматизувати металургійні об'єкти важко й для управління ними необхідні складні й дорогі системи управління.

Позитивний момент – величезні матеріальні й енергетичні потоки металургійних виробництв визначають великий економічний ефект навіть від незначного вдосконалення технологічних процесів.

* 1. **Передумови успішної автоматизації:**
* *достатній рівень механізації* – автоматизація не усуває недоліків механізації (ненадійність механізмів, недостатня потужність приводів, фізичне спрацювання устаткування не дозволять навіть найкращій системі забезпечити випуск якісної продукції);
* *висока культура виробництва* – автоматизація не вирішує організаційні проблеми (відсутність продуманого порядку, нечіткий розподіл обов'язків серед виробничого персоналу, низька технологічна дисципліна зведуть нанівець зусилля розроблювачів САР);
* *повнота й точність інформації* про процес, що автоматизується (оснащення устаткування необхідними датчиками й захист їх від техногенних впливів);
* *надійність* технічних засобів автоматизації (ТЗА).

Нинішня техніка автоматизації має високу надійність. Середній час наробітку на відмову модулів управляючих обчислювальних комплексів - 10 й більше років. Таким чином, техніка практично не відмовляє.

Найчастіше збої в роботі АСУ відбуваються через недосконалість управляючих програм. Це пов'язане з тим, що для кожної АСУ конкретним технологічним процесом розробляється спеціальне (унікальне) програмне забезпечення, у процесі написання, налагодження й супроводу якого неминучі помилки. Для того, щоб звести їх до мінімуму, розробляються й впроваджуються різні системи автоматизації програмування й діагностики роботи програмного забезпечення.

* 1. **Економічна оцінка ефективності автоматизації**

Оцінка економічної ефективності систем автоматичного регулювання й управління багато в чому визначається правильним вибором критерію діяльності автоматизованого виробництва.

Неправильний вибір такого критерію приводить до необґрунтованих технічних рішень і додаткових витрат. Наприклад, виключення капітальних витрат на автоматизацію із собівартості продукції приводить, як правило, до ускладнення систем управління й тривалих строків окупності засобів автоматизації.

В умовах металургійної промисловості (доменна піч, конвертор, прокатний стан), що мають порівняно невелику чисельність обслуговуючого персоналу, автоматизація основних агрегатів не призводить до істотного вивільнення робочої сили, а найчастіше вимагає залучення більш кваліфікованої праці для обслуговування систем контролю й управління. Однак поліпшення організації виробництва, функціонування технологічних агрегатів й, особливо, підвищення якості металопродукції повністю компенсують додаткові витрати, що виникають при цьому.

На допоміжних операціях (контроль, обробка, маркування, пакування тощо.) автоматизація дозволяє значно скоротити чисельність персоналу й за рахунок цього одержати економічний ефект.

Звичайно як критерій використовується прибуток, додатково одержуваний на підприємстві у зв'язку з автоматизацією виробництва. При цьому критерієм оцінки роботи систем автоматизації найчастіше виступає *строк окупності виробничих витрат*.

Однак, крім цього економічного ефекту, необхідно оцінювати також загальний народногосподарський ефект, що може значно перевищувати ефект окремого підприємства у зв’язку з тим, що:

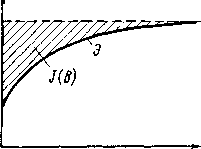
а) підвищення продуктивності агрегатів еквівалентно будівництву нових виробничих потужностей;

б) поліпшення якості металу подовжує термін служби виготовлених з нього виробів, що, по суті, еквівалентно збільшенню виробництва;

в) економія сировини й палива еквівалентна збільшенню видобутку руди, вугілля, газу, нафти.

У металургійних агрегатах, що є об'єктами автоматичного управління, плинуть складні фізико-хімічні явища. Для управління технологічним процесом необхідно мати інформацію про початкові умови виробництва (параметри сировини, палива тощо), протікання процесу, роботу устаткування й кінцеві результати.

Одержання інформації та її використання для управління технологічними процесами пов'язані з витратами на придбання й експлуатацію ТЗА (датчиків, автоматичних регуляторів, мікропроцесорів, управляючих обчислювальних комплексів і виконавчих пристроїв).

Чим більше факторів ми вимірюємо, стабілізуємо, оптимізуємо, тим дорожче АСУ. Дослідження показали, що ефективність Е систем управління й капітальних вкладень К (витрати на їхнє придбання, виготовлення, монтаж, налагодження, перевірку й обслуговування) зв'язані експонентною залежністю

Е = Еmax (1 – Bo exp ( – Kавт / Ko )),

де Е – ефективність впровадження даної АСУ;

Ko – вартість системи управління до початку робіт з автоматизації;

Kавт – вартість автоматизованої системи;

Еmax – максимальна ефективність, що відповідає повному обсягу контролю й автоматизації об'єкту;

Bo – коефіцієнт, що характеризує початковий стан об'єкта.

Згідно з графіком на рисунку видно, що в міру збільшення витрат на автоматизацію поточна ефективність Е неухильно підвищується, наближаючись до максимально досяжної величини Еmax .

Ефективність автоматизації вимірюють ­відношенням Т = ΔК / ΔЕ – строком окупності АСУ, де ΔК – витрати на автоматизацію; ΔЕ – приріст ефективності виробництва в результаті його автоматизації.

Оскільки залежність Е = f (К) нелінійна, те в міру збільшення витрат збільшення ефективності ΔЕ на одиницю витрат ΔК зменшується.

**1.6 Основні вимоги до автоматизації**

1. Раціональний рівень автоматизації конкретного виробництва повинен бути обґрунтований економічно. Цей рівень визначається не тільки технологічними й технічними показниками, але й соціально-економічними наслідками автоматизації.
2. Складність алгоритмів управління повинна відповідати завданню автоматизації.
3. Впровадження АСУ доцільно вести поетапно, створюючи ієрархічні системи. Наприклад, I рівень – САК, II рівень – САР, III рівень – АСУ ТП, IV рівень – АСУП.

При цьому підвищується надійність і ефективність управління завдяки автономному функціонуванню нижчих рівнів.

4. Максимальний економічний ефект досягається при розробці нових технологічних процесів і агрегатів з повною їхньою автоматизацією при використанні досягнень теорії автоматичного управління (ТАУ), сучасної елементної бази ТЗА й управляючих обчислювальних комплексів (УОК).

**2 ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ Й ОЦІНКА ЇХНЬОЇ ЯКОСТІ**

**2.1 Статичний й динамічний стани системи**

У статичному стані збурюючі й управляючі впливи на систему постійні. Якщо при цьому значення регульованого параметра дорівнює заданій величині, то говорять про *сталий режим роботи* системи управління.

Залежність між вихідними В и вхідними Х величинами в сталих режимах роботи (рис. 2.1) називається *статичною характеристикою* системи. Статичні характеристики дають можливість оцінити характер і ступінь зв'язку між вхідними й вихідними величинами.

На практиці статичні режими досить рідкі, тому що численні збурювання постійно виводять систему зі стану рівноваги. Режим, відмінний від статичного, називають *динамічним*, а перехід у часі від вихідного сталого стану до нового називається *перехідним процесом*.

1

2

х

у

а

у

у1

у2

х

б

у3

Рис. 2.1. Вид статичних характеристик об'єктів:

а – з одним виходом; б – з декількома виходами;

1 – лінійна; 2 – нелінійна характеристики

**2.2 Види перехідних процесів**

Види перехідних процесів у системах управління визначаються характером зміни вихідної величини при додатку того або іншого впливу на систему.

Вони можуть бути коливальними або неперіодичними, збіжними або розбіжними (рис. 2.2).

х

хзад

τ

1

х

хзад

τ

3

х

хзад

τ

2

х

хзад

τ

4

х

хзад

τ

5

Рис. 2.2. Види перехідних процесів у системах управління:

1 – аперіодичний перехідний процес у нестійкій системі;

2 – коливальний перехідний процес у нестійкій системі;

3 – аперіодичний перехідний процес у стійкій системі;

4 – коливальний перехідний процес у стійкій системі;

5 – процес із незатухаючими (стаціонарними) коливаннями.

**2.3 Типові впливи на об'єкт**

Перехідний процес у системі управління може початися або під впливом збурень або внаслідок зміни завдання (тобто при настроюванні системи на нове задане значення вихідної величини).

Для порівняння різних систем або оцінки їхньої придатності для вирішення конкретних завдань управління розглядають їхнє поводження в динаміці. Вид перехідного процесу залежить не тільки від властивостей суто системи, але й від характеру зміни впливів. Тому до розгляду приймають *типові впливи*, які є найбільш несприятливими або найбільш характерними серед усіх можливих.

1) Найбільш часто як типовий вплив використовують стрибкоподібні функції, наприклад, східчастий вплив – *одиничний стрибок* (рис. 2.2, а)

. (2.1)

Такий сигнал є характерним для систем автоматичної стабілізації. Наприклад, при регулюванні швидкості й натягу смуги, що прокочується на стані, стрибкоподібні впливи можуть виникати при раптовому включенні (відключенні*) системи управління.*

0

t

x

a

0

t

x

б

Рис. 2.2. Типові впливи

2) Іншим типовим впливом є імпульсне (рис. 2.2, б). Цей вплив виникає в системах з різкою й значною зміною навантаження за час, значно менший від часу перехідного процесу.

Як приклад можна вказати на систему, що стежить, призначену для управління летучими ножицями в прокатному стані при розрізуванні розкату на смуги.

3) Для систем, що працюють в умовах періодичних збурювань, використають гармонійні типові впливи. Одержувані при цьому частотні характеристики дозволяють найбільше повно оцінити динамічні властивості системи.

**2.4 Оцінка якості процесу управління**

Практика використання систем управління висуває до них найрізноманітніші вимоги. Так, у багатьох випадках необхідно, щоб за певний час система переходила з одного сталого стану в інший (*швидкодія*) або щоб система досить точно відтворювала завдання (*точність*). До деяких САУ висувають вимоги економічності процесу управління, плавності зміни вихідних величин тощо.

Комплекс вимог, що визначають поводження системи в сталих і перехідних режимах при заданому впливі, поєднують у поняття *якості процесу управління.* Зрозуміло, що якість регулювання залежить від прийнятого алгоритму функціонування регулятора – закону регулювання.

Для оцінки якості управління використовується ряд числових показників. У статичному стані про якість управління судять по величині *статичної помилки*. У динамічних режимах якість систем оцінюється по характеру перехідного процесу.

Показники якості, обумовлені безпосередньо кривою перехідного процесу, називають *прямими оцінками* якості. Найчастіше прямі оцінки одержують по *перехідній характеристиці* h(t), тобто по кривій перехідного процесу, викликаного одиничним східчастим сигналом при нульових початкових умовах. Перехідна характеристика може бути отримана як для вихідної величини y(t), так і для її відхилення ε(t) від заданого значення.

К *прямим оцінкам якості* відносяться такі показники (рис. 2.4) :

1. *Час регулювання* Тр – проміжок часу від моменту внесення впливу до моменту, після якого регульована величина h (t) стає й залишається близькою до сталого значення hуст із заданою точністю Δ, тобто | h (t) – hуст | ≤. Δ.

*2. Час досягнення першого максимуму –*  t max 1.

*3. Коливальність* перехідного процесу визначається числом коливань η. Найчастіше допускається η = 1...2, іноді 3...4, але в деяких випадках коливання в системі неприпустимі.

*4.*  *Частота коливань*  де *Тк* – період коливань.

*5. Перерегулювання* σ – виражене у відсотках максимальне відхилення регульованої величини від сталого значення

.

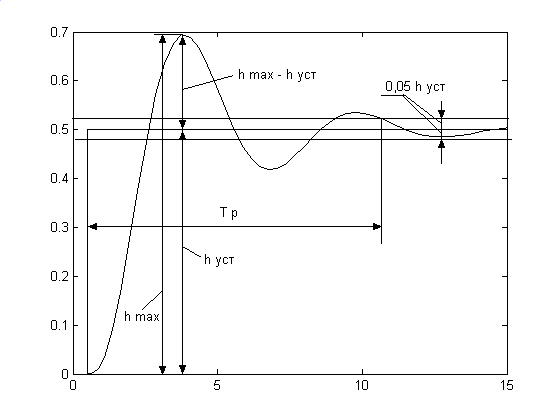
Звичайно перерегулювання не повинне перевищувати σ = 10...25 %

Рис. 2.4. До визначення прямих показників якості

*6. Декремент* (швидкість) загасання коливань

 (2.3)

Крім прямих показників якості, для аналізу систем часто використовують *непрямі*, засновані на обчисленні певних інтегралів від деяких функцій відхилення регульованої величини.

Найбільше застосування знаходять оцінки виду

, (2.4)

, (2.5)

де Δy(t) = y(t) – g(t) – відхилення регульованої величини **у** від заданого значення g(t).

Якщо задане значення змінюється стрибком, то ідеалом перехідного процесу буде миттєве досягнення регульованою величиною нового значення. Показник якості при цьому – площа фігури, укладеної між кривою перехідної характеристики й ідеальною (миттєвою) реакцією системи на східчастий вплив, що викликав цей перехідний процес. Очевидно, реальний процес тим менше буде відрізнятися від ідеального, чим менше буде сума абсолютних значень заштрихованих на рис. 2.5 площ.

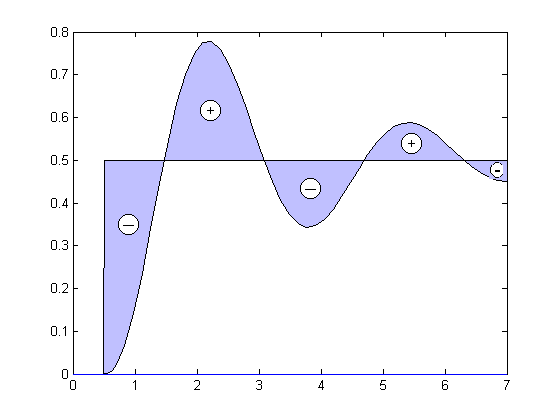


Рис. 2.5. До визначення інтегральних показників якості

Отже, кращі якісні показники будуть, за інших рівних умов, мати системи, для яких значення інтегралів (2.4) і (2.5) мінімальні.

Інтеграл (2.4) являє собою таку суму площ, де окремі площі підсумуються з різними знаками. Такий інтеграл може дати правильне уявлення про якість тільки монотонного аперіодичного процесу. Тому область його застосування обмежена.

Для оцінки коливальних перехідних процесів необхідно використати квадратичне інтегральне відхилення (2.5).

Такі непрямі інтегральні оцінки звичайно застосовують для аналізу процесу вільних коливань, а також процесів, викликаних східчастим впливом. Однак вони дозволяють ураховувати й вплив збурювань, що безперервно змінюються.

# **3 ТИПОВІ ДИНАМІЧНІ ЛАНКИ**

## 3.1 Властивості типових динамічних ланок

При аналізі й синтезі CAP зручно уявляти, що вони складаються із простих елементів, які називають типовими динамічними ланками. Динамічні ланки підрозділяються тільки по динамічних властивостях (виду диференціального рівняння), які можуть бути однакові при різній фізичній сутності процесу в ланці. Тобто одним й тим же самим типом динамічної ланки охоплюються елементи, у яких протікають різні фізичні процеси (електричні, теплові, гідравлічні).

Складні елементи представляються у вигляді сукупності певним чином з'єднаних типових динамічних ланок.

До типових динамічних ланок висувають наступні вимоги:

1. Ланка має одну вхідну й одну вихідну величини.

2. Сигнал проходить в одному напрямку (детектуюча властивість ланки).

3. Динаміка ланки описується диференціальним рівнянням не вище 2-го порядку.

Властивості ланок вивчають згідно із видом перехідного процесу при подачі на вхід одиничного східчастого збурювання x(t) = 1, тобто по *перехідній характеристиці*.

При такому підході для аналізу якості систем регулювання необхідно по диференціальних рівняннях елементів системи скласти її диференціальне рівняння. Для полегшення дослідження властивостей динамічних ланок вводиться поняття передатної функції.

## 3.2 Передатна функція

Для аналізу роботи системи управління потрібно скласти диференціальне рівняння, що описує її динаміку. Потім одержати загальне рішення цього рівняння, побудувати перехідний процес і проаналізувати його з погляду якості роботи системи. Для полегшення вирішення цього завдання використовується поняття *передатної функції*.

Запишемо диференціальне рівняння системи управління у загальному вигляді

 . (3.1)

Тут похідною нульового порядку є сама змінна у.

Спростимо це вираження, використовуючи оператор Лапласа . Для цього введемо позначення операцій:

диференціювання ; інтегрування  .

Перетворимо рівняння (4.1) по Лапласу

, (3.2)

яке можна представити у вигляді

. (3.3)

*Передатна функція* W(p) – це відношення операторного полінома , що характеризує вхідну величину , до операторного полінома , що характеризує вихідну величину .

Отже, передатна функція

. (3.4)

**3.3 Динамічні ланки першого порядку**

Типові динамічні ланки першого порядку підрозділяються на статичні й астатичні. До *статичних* відносяться такі ланки, які при східчастому вхідному впливі переходять із початкового положення рівноваги в нове.

***3.3.1 Пропорційна ланка***

Цю ланку називають також підсилювальною і безінерційною. Ланка описується алгебраїчним рівнянням

*y = k ⋅ x* ,

де *k –* коефіцієнт передачі (посилення), що має розмірність одиниці вихідної величини y, поділеної на одиницю вхідної величини x

**.

Передатна функція пропорційної ланки дорівнює його коефіцієнту передачі – *W(p) = k.* Перехідна характеристика виглядає у такий спосіб

k ⋅ х

х = 1

y

х

τ

τ

Рис. 3.1. Перехідна характеристика пропорційної ланки

Підсилювальна ланка не трансформує форму вхідного сигналу, а змінює тільки його масштаб в k раз.

Прикладами пропорційних ланок можуть служити (рис. 3.2):

а) важіль, якщо вхідна величина х – зусилля на одному кінці важеля, а вихідна величина в – зусилля на іншому його кінці (рис. 3.2,а);

б) зубчаста передача, якщо х = ϕвх – кут повороту малої шестірні, а у = ϕвих – кут повороту великої шестірні (рис. 3.2,б);

в) тепловіддача конвекцією від газу, що рухається, до стінки, якщо х – різниця температур газу й стінки  Δt = tг – tс, а у – кількість тепла Q, що *віддається* (рис. 3.2,в);

г) потенціометричний датчик вимірювального приладу, якщо х – переміщення движка *l,* a у *–* напруга Uвих, що знімається з датчика (рис. 3.2,г).

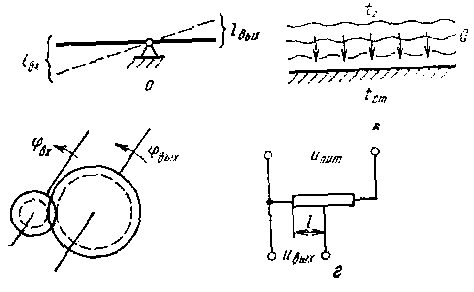


Рис. 4.2. Приклади пропорційних ланок

Рис. 3.2. Приклади пропорційних ланок

***3.3.2 Аперіодична (інерційна) ланка першого порядку***

Динаміка цієї ланки описується диференціальним рівнянням

*,*

де *k –* коефіцієнт передачі; *Т –* постійна часу, с.

Передатна функція ланки

*W(p) = k / (Tp+1).*

Перехідна характеристика ланки *h(t) = k (1 – e – t / T).* Таким чином, ланка накопичує енергію або речовину й, завдяки цьому, у приймає своє стале значення через якийсь час.

х = 1

k ⋅ х

y

х

τ

τ

Т

Рис. 3.3. Перехідна характеристика інерційної ланки

На графіку перехідної функції (рис. 3.3) відрізок, що відтинається дотичній, проведеної в початковій крапці, при сталому значенні вихідної величини дорівнює постійної часу Т.

Отже, *постійна часу* – це час, за яке вихідна величина досягла б свого сталого значення, якби змінювалася з постійною початковою швидкістю. Чим більше Т, тим довший перехідний процес. Практично перехідний процес вважається таким, що закінчився через час τ ≈ 3 Т.

Прикладами аперіодичних ланок можуть служити (рис. 3.4):

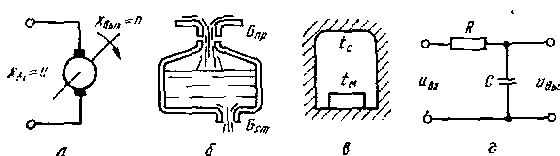


Рис. 3.4. Приклади інерційних ланок

а) електропривод постійного струму, якщо вхідна величина *х* підведена напруга U*,* а вихідна величина у *–* швидкість обертання n;

б) проміжний ківш МБЛЗ, якщо *х* = Gпр – Gот – баланс надходження й витрати рідкого металу, а у *–* рівень металу *Н*;

в) нагрівання тіла, яке поміщене в середовище з температурою *tc* (тепловіддача оцінюється за законом Ньютона *q = α (tc – tм),* де *q –* щільність теплового потоку на нагрівання тіла; *α* – коефіцієнт тепловіддачі, якщо *tc –* вхідна величина, а середня температура тіла tм – вихідна величина;

г) електричний RC-ланцюжок, якщо Uвх = х, а Uвих = у.

*Астатичні (інтегруючі) ланки* – це такі ланки, у яких після надходження на вхід східчастого впливу вихідна величина не приходить до сталого значення (як у статичних), а безупинно змінюється.

***3.3.3 Ідеальна інтегруюча ланка***

У такій ланці вихідний сигнал пропорційний інтегралу від вхідної величини. Ця властивість ланки описується виразом

або .

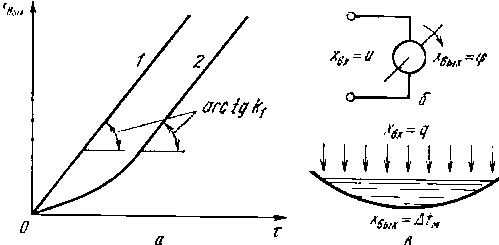
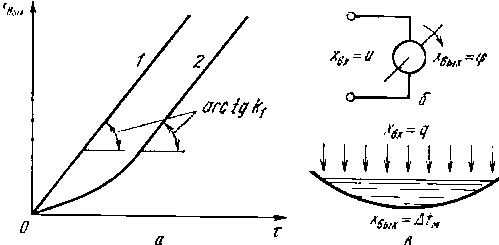
Перетворимо останній вираз згідно Лапласу – *р⋅ у = k1⋅ х*. Тоді передатна функція ланки має вигляд – *W(p) = k1 / p* .

Перехідна характеристика ланки *h(t) = k1 ⋅  t* являє собою пряму лінію з кутом нахилу α = arctg *k1* (рис. 3.5).

Приклади інтегруючих ланок:

а) електродвигун, якщо вхідна величина – напруга живлення U, а вихідна величина – кут повороту якоря ϕ;

б) ванна рідкого металу в сталеплавильній печі, якщо вхідна величина – тепловий потік через поверхню ванни *q,* а вихідна величина – зміна середньої температури металу Δtм.



а

б

Рис. 3.5. Приклади інтегруючих ланок

***3.3.4 Реальна інтегруюча ланка*** (інтегруюча ланка із запізненням) описується диференціальним рівнянням

*.*

Передатна функція ланки

*W(p) = k1 / p (Tp + 1).*

Перехідна характеристика реальної інтегруючої ланки *h(τ) = (τ − Τ (1 − e−τ/Τ))* відрізняється від перехідної функції ідеальної ланки в початковий момент часу, а потім переходить у паралельну їй пряму лінію з тим же кутом нахилу α = arctg *k1* (рис. 3.6).

.

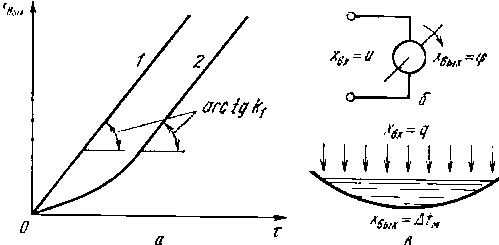


Рис. 3.6. Порівняльні перехідні характеристики ідеальної (1) й

реальної (2) інтегруючих ланок

Прикладами реальних інтегруючих ланок можуть служити ті ж об'єкти (див. рис. 3.5), якщо більш точно розглядати їхні рівняння руху. Наприклад, електродвигун з постійною швидкістю обертання буде ідеальною інтегруючою ланкою. Однак у момент запуску постійна швидкість вала встановиться не відразу, а з деяким запізненням, тому електродвигун варто розглядати як реальну інтегруючу ланку.

***3.3.5 Ідеальна диференціююча*** ***ланка***

Диференціальне рівняння ланки

,

де  – час диференціювання ланки, що має розмірність одиниці вихідної величини, поділену на одиницю швидкості зміни вхідної величини.

Передатна функція ланки

*W(p) = ТД p.*

Перехідна характеристика ланки

*h (t) = ТД ⋅ δ (t)*

Тут *δ (t)*– так звана дельта-функція – миттєвий імпульс нескінченно великої амплітуди. Тому перехідна характеристика ідеальної ланки являє собою кидок вихідної величини в нескінченність у момент нанесення східчастого вхідного впливу.

Найбільш близько до ідеальної ланки наближається тахогенератор постійного струму, якщо вхідною величиною вважати кут повороту якоря, а вихідний – е.д.с. якоря (рис. 3.7).

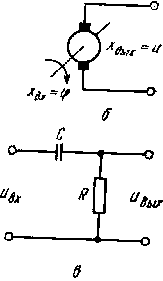


Рис. 3.7. Приклад диференціюючої ланки

***3.3.6 Реальна діференціююча ланка*** (дифференціююча ланка із запізненням) описується диференціальним рівнянням

***.***

Передатна функція ланки *W(p) = ТД p / (Tp +1)****.***

Перехідна характеристика ланки *h (t) = ( k / T ) e – t / T* являє собою експоненту, дотична до якої в початковій крапці відтинає на нульовому значенні вихідної величини постійну часу *Т.*

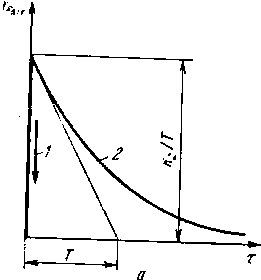


Рис. 3.8. Перехідні функції ідеальної (1) і реальної (2)

дифференцируюючих ланок

*3.3.7 Ланка чистого запізнювання*

На відміну від інших ланок, ця ланка описується рівнянням із запізнілим аргументом у (t) = х (t – τ), де t – поточний час; τ – час чистого запізнювання.

X = 1

k ⋅ X

Y

X

t

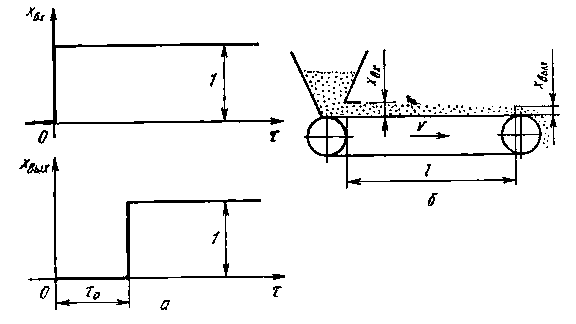
t

τ

Рис. 3.9. Перехідна характеристика ланки чистого запізнювання

Форма сигналу при цьому не змінюється, він просто зміщується у часі. Передатна функція цієї ланки має вигляд W(p) = k · exp(– p · t) , а перехідна функція h(t) = k · (t – τ).

Характерним прикладом ланки чистого запізнювання служить транспортер (наприклад, стрічка агломераційної машини), на якому після зміни вхідної величини (товщина шару сипучого матеріалу) повинне пройти час *τ0 = l/v ( l –* довжина транспортера; *v –* його швидкість; *τ0* – час чистого транспортного запізнювання), після якого в такий же спосіб зміниться вихідна величина.



1

Рис. 3.10. Приклад ланки чистого запізнювання

## 3.4 Класифікація динамічних ланок другого порядку

Диференціальні рівняння таких ланок мають загальний вигляд

,

а передатна функція – W(p) = K / (T22 p2 + T1 p + 1).

Залежно від співвідношення постійних часу Т1 і Т2 маємо такі види ланок другого порядку:

а) якщо , та ланка називається аперіодичним другого порядку. Перехідний процес являє собою S-образну криву з перегином у точці О (рис. 3.10).

х

y

х

τ

τ

0

Рис. 3.10. Перехідна характеристика аперіодичної ланки

другого порядку

Приклади технічної реалізації аперіодичної ланки другого порядку (рис. 3.11):

а) послідовне з'єднання двох пневматичних ємностей, якщо вхідна величина *х = Рпит,* а вихідна величина – тиск у другій ємності у *= Р* ;

б) подвійний електричний *RC-ланцюжок*.

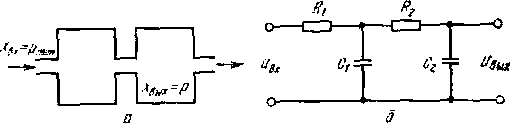


Рис. 3.11. Приклади аперіодичних ланок другого порядку

б) Якщо , та ланка називається коливальною.

Диференціальне рівняння ланки звичайно представляється у вигляді

* ,*

де ξ – коефіцієнт загасання, 0 < ξ < 1. При цьому корні характеристичного рівняння комплексні. Перехідна характеристика ланки являє собою періодичний збіжний процес (рис. 3.12), описуваний формулою

, де *α = ξ / T,* .

х

y

х

τ

τ

Рис. 3.12. Перехідна характеристика коливальної ланки

Прикладами коливальних ланок можуть служити (рис. 3.13):

а) електричний коливальний *RCL-контур* (R – активний опір, C – ємність, L – індуктивність);

б) пружна механічна передача, що складається із вхідного 1 й вихідного 2 валів, пружного елемента 3*,* маховика 4 і демпфера 5, що робить опір обертанню вала. Вхідна величина х – кут повороту вхідного вала ϕ1, вихідна величина у – кут повороту вихідного вала ϕ2.

1

2

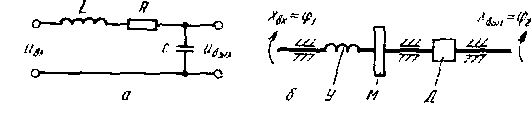
3

4

5

ϕ1 = х

ϕ2 = y



б

а

Рис. 3.13. Приклади коливальних ланок

в) Якщо Т1 = 0, тобто немає демпфування, маємо консервативну ланку

.

Перехідна характеристика являє собою гармонійні незатухаючі коливання (у природі такої ланки немає).

г) Якщо Т1 < 0 – це нестійка коливальна ланка з розбіжними коливаннями.

До динамічних ланок другого порядку відносяться також розглянуті вище реальні інтегруюча й диференціююча ланки.

Класифікацію динамічних ланок другого порядку можна графічно зобразити у такий спосіб (рис. 3.14).

стійкі

нестійкі

**Б**

**А**

**Г**

**В**

**0**

**Т1/Т2**

**2**

**1**

аперіодичні

періодичні

**г**

**б**

**в**

**а**

Рис. 3.14. Класифікація динамічних ланок другого порядку

## 3.5 Передатні функції з'єднань динамічних ланок

***3.5.1 Послідовне з'єднання*** – з'єднання, у якого вихідна величина попередньої ланки є вхідною величиною наступної ланки

х = х1;у1 = х2;у2 = х3;у3 = у .

Виведення рівняння динаміки послідовного з'єднання ланок:

у1 = W1(p) ⋅ х1; у2 = W2(p) ⋅ х2; у3 = W3(p) ⋅ х3.

у = у3 = W3(p)⋅х3 = W3(p)⋅у2 = W3(p)⋅W2(p)⋅х2 = W3(p)⋅W2(p)⋅у1 =

= W3(p)⋅W2(p)⋅W1(p)⋅х1 = W3(p)⋅W2(p)⋅W1(p)⋅х



Таким чином, передатна функція послідовного з'єднання ланок дорівнює добутку передатних функцій окремих ланок.

***3.5.2* *Паралельне* *з'єднання*** – з'єднання, у якого вхідні величини всіх ланок рівні, а вихідна дорівнює сумі вихідних величин окремих ланок

х = х1 = х2 = х3 ;у = у1 + у2 + у3 .

Виведення рівняння динаміки паралельного з'єднання ланок:

у1 = W1(р) ⋅ х1;у2 = W2(р) ⋅ х2;у3 = W1(р) ⋅ х3.

у = у1 + у2 + у3 = W1(р) ⋅х1 + W2(р) ⋅х2 + W3(р) ⋅х3 =

= W1(р) ⋅х + W2(р) ⋅х + W3(р) ⋅х = х[W1(р) + W2(р) + W3(р)].

.

Передатна функція паралельного з'єднання ланок дорівнює сумі передатних функцій окремих ланок.

### *3.5.3 Зустрічно-паралельне з'єднання ланок*

Подача сигналу з виходу ланки на його вхід називається зворотнім зв'язком. На рис. 3.15 ланка 1 охоплена зворотнім зв'язком за допомогою ланки 2. Ланку 2 називають ланкою зворотнього зв'язку.

–

1

2

х

х1

у1

х2

у2

у

W1(p)

W2(p)

Рис. 3.15. Зустрічно-паралельне з'єднання ланок

Розрізняють позитивний й негативний зворотні зв'язки. Якщо сигнал зворотнього зв'язку збільшує вхідний сигнал, то зв'язок позитивний, у противному випадку – негативний.

Якщо як ланка зворотнього зв'язку використовується підсилювальна ланка, то зв'язок називається твердим. Якщо диференціальна ланка – маємо гнучкий зворотній зв'язок.

Розглянемо два важливих практичних випадки. Ланка 1 – об'єкт регулювання, ланка 2 – регулятор. Ланки 1 і 2 разом утворять замкнуту систему регулювання. Розрізняють передатні функції такої системи за навантаженням й за завданням.

***3.5.4 Передатна функція за навантаженням***Wн(p) говорить про те, що збурювання в системі прикладено до об'єкта регулювання (див. рис. 3.14). Для цієї системи можна записати такі співвідношення сигналів:

х = х1 = х2 ; х1 = х – у2

у1 = W1(p) ⋅ х1 ;у2 = W2(p) ⋅ у .

у = у1 = W1(р) ⋅ х1 = W1(р) ⋅ (х – у2) = W1(p) ⋅ [х – W2(р) ⋅ х2] =

= W1(p) ⋅ [х – W2(р) ⋅ у] = W1(p) ⋅ х – W1(p) ⋅ W2(р) ⋅ у.

Звідси – у⋅ [1 + W1(p) ⋅ W2(p)] = W1(p) ⋅ x.

Таким чином, передатна функція за навантаженням має вигляд

.

**3.5.5** **Передатна функція за завданням** Wз(p) означає, щозбурювання в системі прикладено до регулятора (рис. 3.16). Для такої системи управління можна записати наступні співвідношення сигналів:

у = у1;х = у2;х1 = в0 – у1.

у1 = W1(p) ⋅ х1 ;у2 = W2(p) ⋅ х2 ; Wз(p) = у/у0 .

у = у1 = W1(р) ⋅ х1 = W1(р) ⋅ у2 = W1(p) ⋅ W2(р) ⋅ х2 =

= W1(p) ⋅ W2(р) ⋅ (у0 – у) = W1(p) ⋅ W2(р) ⋅ у0 – W1(p) ⋅ W2(р) ⋅ у.

Звідси – у⋅ [1 + W1(p) ⋅ W2(p)] = W1(p) ⋅ W2(р) ⋅ у0 .

Таким чином, передатна функція за завданням має вигляд

 .

1

2

у0

х1

у1

х2

у2

у

W1(p)

W2(p)

–

Рис. 3.16. Зустрічно-паралельне з'єднання ланок

з передатною функцією за навантаженням

# **4 АВТОМАТИЧНІ РЕГУЛЮЮЧІ ПРИСТРОЇ**

Необхідна якість регулювання залежить від умов протікання технологічного процесу й роботи агрегату. Воно повинне забезпечити точність підтримки технологічного режиму і його економічну ефективність. У кожному випадку визначають найбільш істотні *показники якості* перехідного процесу, які необхідно забезпечити в першу чергу. Найчастіше, це максимальне динамічне відхилення, час регулювання або інтегральний показник.

**4.1 Типові оптимальні перехідні процеси регулювання**

Розглянемо систему управління, у завдання якої входить підтримка заданого значення вихідної величини при різних зовнішніх впливах. Звичайно намагаються реалізувати один із трьох типових оптимальних процесів регулювання.

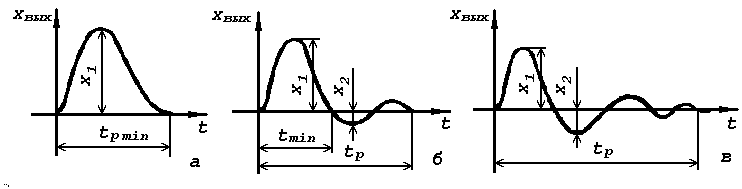


Рис. 4.1. Типові оптимальні перехідні процеси регулювання

1) Аперіодичний процес із мінімальним часом регулювання. Характеризується мінімальною величиною загального часу регулювання і мінімальним регулюючим впливом. Застосовується при великому припустимому динамічному відхиленні регульованої величини (рис. 4.1,а).

2) Процес із 20%-ным перерегулюванням і мінімальним часом першого напівперіоду коливань рекомендується застосовувати в тих випадках, коли допускають певну величину перерегулювання (відношення х2/х1), але пред'являють більш тверді, ніж у попередньому випадку, вимоги до величини динамічного відхилення x1 (рис. 4.1,б).

3) Процес із мінімальним квадратичним інтегральним показником ( min ∫ x2dt ) характеризується найбільшими перерегулюванням (х2/х1 = 40…45%) і часом регулювання tр, але зате мінімальною величиною динамічного відхилення х1 (рис. 4.1,в).

**4.2 Закони регулювання й автоматичні регулятори**

Для реалізації цих перехідних процесів у САУ реальними об'єктами застосовують автоматичні регулятори – спеціальні автоматичні пристрої, що підключаються до об'єкта регулювання, які забезпечують підтримку заданих значень його регульованих величин або зміну їх за певним законом.

На рис. 4.2 наведена схема найпростішої системи управління з регулюючим пристроєм РП.

Законом (алгоритмом) регулювання називають математичну залежність між вихідним регулюючим впливом Yр і вхідним відхиленням Xр регульованої величини Y від заданого значення Yо

Yр = f (Xр), де Xр = Yo – Y .

#### Xp

#### ТОУ

#### РП

#### Y

#### Yp

#### Yo

Рис. 4.2. Схема системи управління

В ідеальних умовах роботи САР (лінійність характеристики об'єкта, стаціонарність випадкових збурювань, мала інерційність регулятора в порівнянні з об'єктом) регулятор повинен мати лінійну передатну функцію

За характером роботи регулятори діляться на безперервні, імпульсні й релейні. Найбільш широке поширення одержали регулятори безперервної дії, що використовують лінійні закони регулювання виду

, (4.1)

де Ci  – настроювання регулятора.

Розрізняють три типових закони регулювання:

П – пропорційний; І – інтегральний; Д – диференціальний.

Для управління реальними об'єктами в сучасних регулюючих пристроях реалізуються також наступні комбінації цих законів:

ПІ – пропорційно–інтегральний;

ПД – пропорційно–диференціальний;

ПІД – пропорційно–інтегральний–диференціальний.

Настроюваннями безперервних регуляторів П–, І–, ПІ–, ПД– і ПІД–дії можна реалізувати кожний із трьох типових оптимальних процесів регулювання.

Відповідно до реалізованих законів регулювання регулятори безперервної дії діляться на такі типи.

1. Пропорційні або П–регулятори, у яких вихідна величина Yр пов'язана із вхідною величиною Xр співвідношенням Yр = Kp ⋅ Xр. Передатна функція Wр(p) = Кр, де Кр – коефіцієнт передачі регулятора.

Кожному значенню регульованого параметра Y відповідає певне значення відхилення Хр. При відхиленні Y від заданого значення Xo, на виході відразу виникає зміна регулюючого впливу Yp, що призводить до відновлення заданої величини Y. Така жорстка залежність між вхідною й вихідною величинами призводить до статичної помилки системи Хст = Yуст – Yо , що обернено пропорційна коефіцієнту передачі Кр.

Зате П–регулятори прості й стійкі, працюють швидко.

1. Інтегральні або І–регулятори, у яких зміна вихідної величини пропорційна інтегралу зміни вхідної величини



. Передатна функція І–регулятора .

На рис. 4.3 наведені перехідна характеристика І–регулятора (а) і перехідний процес у ТОУ при реалізації І–закону регулювання (б). Постійна часу інтегрування (час ізодрома – перебудови) Ті, від величини якої залежить кут α перехідної характеристики Yp(t).

При цьому законі регулювання швидкість переміщення регулювального органа пропорційна відхиленню регульованої величини Y від заданого значення Yo. Відсутня жорстка залежність між Xр і Y, тому статична помилка дорівнює нулю.

хвх

хвых

хвх

τ

τ

α

х

хзад

τ

Yp

Xp

Y

0

а б

Рис. 4.3. Перехідна характеристика І–регулятора (а) і перехідний процес у ТОУ при реалізації І–закону регулювання (б)

Цей регулятор виграє по точності, але програє по швидкодії й стійкості роботи. Таким системам регулювання властива висока коливальність перехідного процесу. І–регулятори застосовують для управління малоінерційними об'єктами з невеликим часом запізнювання й істотним самовирівнюванням.

1. Пропорційно–інтегральні або ПІ–регулятори, у яких зміна вихідної величини пропорційна як зміні вхідної величини, так і інтегралу її зміни

,

де Tі – час інтегрування, протягом якого регулюючий вплив, обумовлений роботою П–складової, буде подвоєний під дією І–складової регулятора.

хвх

хвых

хвх

τ

τ

П

І

2ϕ=20о

Ті

Yp

0

Xp

0

Рис. 4.4. Перехідна характеристика ПІ–регулятора

Передаточна функція ПІ–регулятора

.

По швидкодії цей регулятор ближче до пропорційного, ніж до інтегрального. При цьому І–частина усуває статичну помилку регулювання.

1. Пропорційно–диференціальні або ПД–регулятори, які впливають на регулювальний орган, пропорційно як відхиленню регульованої величини, так і швидкості її відхилення

,

де TД – час попередження (диференціювання), с.

Передатна функція ПД–регулятора має вигляд

Wпд (p) = kр (1 + TД p) .

Введення Д-частини доцільно при управлінні об'єктами, у яких сильно проявляється швидкість відхилення регульованої величини. Попереджувальний вплив підвищує швидкодію системи, але не виключає статичну помилку.

1. У пропорційно-інтегрально-диференціальних регуляторів (ПІД) зміна вихідної величини ур пропорційна відхиленню регульованої величини, інтегралу цього відхилення, а також швидкості його зміни

.

Передатна функція ПІД–регулятора

Wпід (p) = Kp ( 1 + 1/ (Ті p) – Тд р) ,

або, після перетворення у канонічний вид

 .

хвх

хвых

хвх

τ

τ

П

І

Д

Yp

0

Xp

0

Рис. 4.5. Перехідна характеристика ПІД–регулятора

По характеру функціонування в САР цей закон зі збільшенням Тд наближається до ПД, а при зменшенні Ті – до ПІ–закону.

ПІД–закон значно поліпшує якість регулювання, особливо при різких збурюваннях. Однак такі регулятори – дуже складні по технічній реалізації і настроюванню й, отже, найдорожчі.

## ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Навчальним планом заочного факультету передбачене виконання із дисципліни «Автоматичне регулювання та управлiння технологiчними процесами у виробництвi ТГН та силiкатних матерiалiв» індивідуального завдання:

**ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛІВ У СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ**

Визначити значення вихідної величини y(t) заданого на схемі з'єднання ланок через час tк (с) після подачі на його вхід одиничного східчастого сигналу ?

**Схема A**

Кі/р

Кд·р

x (t)

y (t)

Ку

**Схема B**

Кд·р

Ку

x (t)

y (t)

Кі/р

**Схема C**

Ку

x (t)

y (t)

Кд·р

Кі/р

**Схема D**

Кі/р

Кд·р

x (t)

y (t)

Ку

**Схема E**

Кд·р

Ку

x (t)

y (t)

Кі/р

## Схема F

Кі/р

Ку

x (t)

y (t)

Кд·р

## Схема G

Кі/р

Ку

x (t)

y (t)

Кд·р

## Схема H

Ку

Кі/р

x (t)

y (t)

Кд·р

1) Пропорційна (підсилювальна) ланка

При подачі одиничного східчастого сигналу  на вхід підсилювальної ланки з коефіцієнтом передачі Ку вихідна величина у той же момент стрибком здобуває постійне значення

y(t) = Ку.

x (t)

y (t)

Ку

2) Інтегруюча ланка

При подачі одиничного східчастого сигналу  на вхід інтегруючої ланки з коефіцієнтом підсилення Кі вихідна величина починає змінюватися з постійною швидкістю Кі, досягаючи в момент часу tк значення

y (tк) = Кі · tк · x (tк).

x (t)

y (t)

Кі / р

3) Диференціююча ланка

При подачі одиничного східчастого сигналу  на вхід ланки, що диференціює, з коефіцієнтом підсилення Кд вихідна величина в початковий момент часу миттєво стає нескінченною (δ–функція), а потім – рівною нулю

y (tк > 0) = 0 .

x (t)

y (t)

Кд · р

## Вихідні дані до розрахунку перетворення сигналів

у системах управління

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Варіант | № схеми | **tк, с** | **Ку** | **Кі** | **Кд** |
| 1 | A | 4 | 1 | 2 | 3 |
| 2 | A | 5 | 2 | 3 | 1 |
| 3 | A | 6 | 3 | 1 | 2 |
| 4 | A | 3 | 2 | 1,5 | 2 |
| 5 | B | 4 | 1 | 3 | 2 |
| 6 | B | 5 | 2 | 1 | 3 |
| 7 | B | 6 | 3 | 2 | 1 |
| 8 | B | 3 | 1,5 | 2 | 3 |
| 9 | C | 4 | 1 | 2 | 3 |
| 10 | C | 5 | 2 | 3 | 1 |
| 11 | C | 6 | 3 | 1 | 2 |
| 12 | D | 4 | 1 | 2 | 3 |
| 13 | D | 5 | 2 | 3 | 1 |
| 14 | D | 6 | 3 | 1 | 2 |
| 15 | D | 3 | 3 | 2 | 1,5 |
| 16 | E | 4 | 1 | 3 | 2 |
| 17 | E | 5 | 2 | 1 | 3 |
| 18 | E | 6 | 3 | 2 | 1 |
| 19 | E | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 20 | F | 4 | 1 | 2 | 3 |
| 21 | F | 5 | 2 | 3 | 1 |
| 22 | F | 6 | 3 | 1 | 2 |
| 23 | F | 3 | 4 | 1 | 3 |
| 24 | G | 4 | 1 | 2 | 3 |
| 25 | G | 5 | 2 | 3 | 1 |
| 26 | G | 6 | 3 | 1 | 2 |
| 27 | G | 3 | 4 | 2 | 3 |
| 28 | H | 4 | 1 | 2 | 3 |
| 29 | H | 5 | 2 | 3 | 1 |
| 30 | H | 6 | 3 | 1 | 2 |

**Варіанти теоретичних питань**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Варіанти** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** |
| Питання 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Питання 2 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Питання 3 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| Питання 4 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| Питання 5 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |
| **Варіанти** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** |
| Питання 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1 | 2 |
| Питання 2 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Питання 3 | 27 | 28 | 29 | 30 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| Питання 4 | 39 | 40 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 |
| Питання 5 | 50 | 49 | 48 | 47 | 46 | 45 | 44 | 43 | 42 | 41 |
| **Варіанти** | **21** | **22** | **23** | **24** | **25** | **26** | **27** | **28** | **29** | **30** |
| Питання 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |
| Питання 2 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 |
| Питання 3 | 21 | 23 | 25 | 27 | 29 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 |
| Питання 4 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 31 | 32 | 38 | 40 | 39 |
| Питання 5 | 47 | 48 | 49 | 50 | 42 | 41 | 44 | 43 | 46 | 45 |
| **Варіанти** | **31** | **32** | **33** | **34** | **35** | **36** | **37** | **38** | **39** | **40** |
| Питання 1 | 8 | 9 | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Питання 2 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 |
| Питання 3 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| Питання 4 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |
| Питання 5 | 41 | 44 | 43 | 46 | 45 | 47 | 48 | 49 | 50 | 42 |
| **Варіанти** | **41** | **42** | **43** | **44** | **45** | **46** | **47** | **48** | **49** | **50** |
| Питання 1 | 9 | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Питання 2 | 17 | 13 | 16 | 19 | 12 | 15 | 20 | 14 | 11 | 18 |
| Питання 3 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 21 | 22 |
| Питання 4 | 37 | 31 | 32 | 38 | 40 | 39 | 36 | 35 | 34 | 33 |
| Питання 5 | 48 | 46 | 44 | 42 | 50 | 49 | 47 | 45 | 43 | 41 |

**Перелік теоретичних питань**

1. Які дії відносяться до робочих операцій і які – до операцій управління?

2. Що таке механізація й автоматизація?

3. Які потоки циркулюють, в основному, у системах управління?

4. Для чого використаються системи програмно–логічного управління,

автоматичного контролю й автоматичного регулювання?

5. Що відносять до основних причин застосування систем автоматики?

6. Що є основними передумовами успішної автоматизації?

7. Що є основною причиною збоїв у роботі АСУ ТП?

8. До чого приводить автоматизація основних металургійних агрегатів і

до чого – допоміжних операцій?

9. Якою залежністю пов'язані ефективність систем управління й

капітальні вкладення?

10. Яким показником вимірюють ефективність автоматизації?

11. Як використовується праця людини а автоматичних і автоматизованих

системах?

12. Як називаються параметри, які не змінюються при роботі ТОУ?

13. Які величини характеризують якість керованого процесу?

14. Що таке навантаження й перешкода?

15. Що визначає необхідне значення вихідної величини ТОУ?

16.Що називають перехідною характеристикою?

17. Залежність якого виду називається законом управління?

18. Залежність якого виду називається математичною моделлю ТОУ?

19. У яких системах управління ведеться по детермінованій

математичній моделі, а в яких для управління використовуються

ймовірнісні моделі процесу?

20. Якими факторами повинен бути обґрунтований раціональний рівень

автоматизації конкретного виробництва?

21. Як змінюється задаючий вплив у системах автоматичної стабілізації

й програмного управління і як – у системах, що стежать?

22. У яких системах управління джерелом формування завдання служить

випадковий зовнішній вплив?

23. Що означає принцип суперпозиції, що реалізується в лінійних

системах управління?

24. У яких системах управління дотримується принцип суперпозиції

реакцій на впливи?

25. Як залежить стале значення регульованої величини від навантаження

у статичній системі?

26. Як залежить стале значення регульованої величини від навантаження

в астатичній системі?

27. Як називаються системи управління, що самостійно змінюють при

роботі свої параметри й свою структуру?

28. У яких системах управління реакція залежить від моменту додатка

впливу?

29. У яких системах управління використаються сигнали з гармонійною

модуляцією?

## 30. Які елементи втримуються в дискретних системах управління?

## 31. Який інтеграл використовують як непряму оцінку якості коливальних

перехідних процесів?

32. Що таке перерегулювання?

33.Що називають статичною характеристикою системи?

34. У чому складається основний недолік управління по відхиленню?

35. У чому складається основний недолік принципу компенсації?

36. При якому фундаментальному принципі управління використовується

інформація про збурення?

37. При якому фундаментальному принципі управління використовується

інформація про відхилення вихідної величини ?

38. Що таке навантаження й перешкода?

39. Як називаються параметри, які не змінюються при роботі ТОУ?

40. Залежність якого виду називається математичною моделлю ТОУ?

## 41. Що називають статичною характеристикою системи?

## 42. Як поводяться вхідні й вихідні величини в статичному стані системи?

43. Які впливи повинні відображати типові впливи на систему управління?

## 44. Що називають перехідною характеристикою?

45. Що таке перерегулювання?

## 46. Що характеризує декремент загасання коливань перехідного процесу?

47. Залежність якого виду називається законом управління?

48. Що відносять до основних причин застосування систем автоматики?

49. Які дії відносяться до робочих операцій і які – до операцій управління?

## 50. Який інтеграл використовують як непряму оцінку якості коливальних

## перехідних процесів?

|  |  |
| --- | --- |
| Укладачі: професор, д.т.н.  доцент, к.т.н. | В.І. Головко  А.О. Верховська |

Робочу програму, методичні вказівки та індивідуальні завдання із дисципліни «Автоматичне регулювання та управлiння технологiчними процесами у виробництвi ТГН та силiкатних матерiалiв» для студентів заочного факультету затверджено на засіданні НМК за напрямом 7.05130104 – Хімічні технології тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів

протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ р.

|  |  |
| --- | --- |
| Голова НМК за напрямом: | / / |

# Учбове видання

Головко В’ячеслав Ілліч

Верховська Аліна Олександрівна

**РОБОЧА ПРОГРАМА ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**ДЛЯ ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ**

**із дисципліни «Автоматичне регулювання та управлiння технологiчними процесами у виробництвi ТГН та силiкатних матерiалiв» для студентів заочного факультету, які**

**навчаються за напрямом 7.05130104 – Хімічні технології**

**тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів**

# Учбовий посібник

Тем. план 2013, поз. \_\_\_\_

Підписано до друку \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_. Формат \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_. Папір друк.

Друк плоский. Облік.-вид. арк. \_\_\_\_. Умов. друк арк. \_\_\_\_.

Тираж \_\_\_ прим. Замовлення \_\_\_\_.

Національна металургійна академія України

49635, Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4

Редакційно-видавничий відділ НМетАУ