

ЗМІСТ

Вступ.....	2
Інструкція з техніки безпеки	4
Загальні теоретичні відомості та визначення.....	6
Лабораторна робота № 1	8
Лабораторна робота № 2	12
Лабораторна робота № 3	16
Список використаних джерел	21
Список рекомендованих джерел	22
Додаток А. Визначення параметрів регулятора за видами перехідних процесів.....	23

ВСТУП

Прогрес в автоматизації управління є закономірним результатом зростання технічних і економічних потреб виробництва, що розвивається, і викликаного цим появи нових технічних засобів управління і перш за все обчислювальних машин.

Суть нового етапу розвитку автоматизації можна стисло охарактеризувати як перехід від автоматизації «дій» до автоматизації «ухвалення рішень». Протягом ряду попередніх десятиліть під автоматикою розумілося перш за все виконання без участі людини деяких дій, що однозначно зв'язують причини і наслідки. Новий етап – перш за все вибір деякої якнайкращої реакції з багатьох можливих.

Становлення нової концепції автоматизації в нашій країні відбувалося на фоні еволюції задач управління. Досвід показує, що будь-які прогресивні зрушення залежать від взаємозв'язаного рішення трьох задач:

1. Розробка нових технологічних процесів і типізація цих рішень;
2. Створення новітнього технологічного устаткування і забезпечення ним виробництва;
3. Розробка і впровадження ефективного управління процесами і устаткуванням на основі автоматизації.

Важливо, щоб всі ці три задачі розв'язувалися не послідовно, а одночасно і у взаємозв'язку.

Автоматизовані системи управління (АСУ) є тією формою синтезу традиційної «автоматики» і комплексної переробки задач управління, яка відповідає сучасним вимогам науково-технічного прогресу. Найважливішою особливістю АСУ є те, що їх успішне створення залежить від тісної взаємодії персоналу об'єкту, що автоматизується, і професійних фахівців у області автоматизації управління.

Основна задача при організації АСУ – гармонійний розвиток систем всіх класів для всіх рівнів виробничої ієрархії – від окремого агрегату до виробництва і підприємства в цілому.

Для вищих класів АСУ задачі управління технологічними процесами все більш стикуються із задачами організаційного управління виробництвом.

Їх комплексне рішення дає якісно нові результати в інтегрованих системах управління виробництвом.

До однієї з ключових проблем впровадження і ефективного використання сучасних АСУ слід віднести створення і розвиток математичного забезпечення, особливо зовнішнього (загального) системного.

Важливим моментом є розробка алгоритмів управління складними технологічними процесами і створення уніфікованих пакетів прикладних програм. Вони є основним засобом прискорення і здешевлення робіт, які будуть реалізувати задачі первинної обробки даних, контролю, ідентифікації і адаптації управління, розрахунку техніко-економічних параметрів.

Дисципліна розрахована на студентів 3 курсу спеціальності «Металургія». Курс доповнює та розширює знання та вміння студентів із загальних та професійних дисциплін: «Механічне обладнання металургійних цехів», «Стандартизація, метрологія та сертифікація», «Теорія металургійних процесів» та «Металургійні печі» «Моделювання об'єктів автоматизації на електронно-обчислювальних машинах». У свою чергу, знання та навички, набуті студентами при вивченні дисципліни «Автоматизація металургійного виробництва» використовуються при вивченні дисциплін «Проектування металургійних цехів», «Теоретичні основи гідрометалургійних процесів», Технологія вуглеграфітових та вуглецевих композиційних матеріалів», «Моделювання та оптимізація систем керування», а також при проходженні виробничої практики та при дуальній освіті.

Програма курсу складається із 3 тематичних розділів:

Розділ 1. Загальні поняття про структуру та склад систем автоматичного регулювання

Розділ 2. Характеристики систем автоматичного регулювання

Розділ 3. Проектування систем автоматичного регулювання

Мета курсу - засвоєння знань щодо технічних засобів вимірювання та контролю за металургійними процесами; побудови систем автоматичного регулювання, визначення їх характеристик та показників процесу.

Завдання курсу - ознайомлення із загальною структурою системи автоматичного керування; ознайомлення із математичними методами опису систем та об'єктів автоматичного керування; опанування інформації про побудову та призначення всіх складових систем автоматичного керування; опанування методик проектування типових систем автоматичного керування; набуття навичок розробки типових проектів автоматизації металургійних процесів та об'єктів, а також вибору приладів і засобів автоматизації.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

Знати:

- призначення та конструкцію первинних перетворювачів,
- принципи дії та технічні характеристики технічних засобів автоматизації;
- правила побудови функціональних схем автоматизації, особливості автоматизації металургійних процесів;

Уміти:

- читати технічні креслення контрольно-вимірювальних приладів, засобів з автоматизації та проектну документацію;
- вибирати прилади та обладнання для побудови систем автоматизації;
- визначити принципи побудови, статичні та динамічні характеристики систем, оптимальні параметри процесу.

Один кредит обсягу дисципліни відводиться на виконання лабораторних робіт. Теоретичні відомості, методики виконання з використанням стендового обладнання спеціалізованих лабораторіях та вимоги до оформлення і захисту результатів робіт наведені у лабораторному практикумі.

ІНСТРУКЦІЯ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Інструкція з охорони праці, техніки безпеки, пожежної безпеки при роботі з лабораторним електрообладнанням (далі - Інструкція) встановлює основні вимоги щодо забезпечення охорони праці, техніки безпеки, пожежної безпеки при роботі з лабораторним електрообладнанням.

1. ОСНОВНІ ВИМОГИ

1.1 Студент зобов'язаний:

- піклуватися про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання робіт чи під час перебування на території інституту;
- знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці,
- правила спілкування з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими
- засобами виробництва, користуватися засобами колективного захисту;
- проходити у встановленому законодавством порядку попередні та медичні огляди.

1.2 Студент несе безпосередню відповідальність за порушення вказаних вимог.

1.3 Небезпеку електричних уражень створює різноманітне лабораторне устаткування, яке знаходиться на кафедрі. Діючими установками вважаються такі установки, які містять в собі джерела електроенергії або знаходяться під напругою повністю або частково.

1.4 Прокладання електромережі, підключення спеціальних установок до електромережі здійснюється електрослужбою Інженерного інституту.

1.5 До роботи в лабораторії на приладах і стендах допускаються особи, які вивчили встановлене обладнання, правила його експлуатації та мають групу з електробезпеки не нижче.

1.6 Перед проведенням робіт студенти повинні пройти інструктаж з ТБ у керівника робіт з обов'язковою відміткою в журналі реєстрації інструктажів.

1.7 Студенти допускаються до проведення лабораторних робіт тільки під наглядом викладача після ознайомлення з безпечними методами правил ТБ при виконанні самостійної роботи.

2. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ

2.1 Перед вмиканням установки (приладу, стенду) необхідно візуально перевірити її справність. Поверхні приладів і стендів повинні бути чистими і сухими.

2.2 Перевірити справність та цілісність розеток, вилок, струмопідключених проводів, ізоляції на рукоятках інструменту.

2.3 Перевірити наявність і справність заземлюючого проводу і місць його кріплення.

2.4 Виконувати тільки доручену студентам роботу.

3. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ

3.1 При експлуатації приладів і стендів необхідно строго дотримуватись правил, викладених в технічному паспорті. Стаціонарні прилади повинні бути заземлені. Регулярно перевіряти працездатність електроприладів, стендів, та електрообладнання.

3.2 Всі електронагрівальні прилади повинні встановлюватися на теплоізолюючих та незгоряємих поверхнях, вони повинні бути чистими і сухими, не допускати попадання на них кислот, розчинів, солей та інш.

3.3 При порушенні роботи приладу і стенду (появі запаху, виділенні диму, зміні характеру шуму і т.д.) прилад, стенд відключають від електромережі і не використовують до перевірки та проведення необхідного ремонту.

3.4 При припиненні подачі електроструму в лабораторію необхідно відключити всі прилади і стенди.

Забороняється:

- використовувати в якості тимчасового заземлення водопровідні труби, мережі центрального опалення, каналізації, трубопроводи вкриті ізоляцією для захисту від корозії;

- залишати ввімкненими прилади і стенди на ніч.

- користуватися саморобними нагрівальними приладами, несправними розетками, виделками, вимикачами, електрошафами й іншим не працездатним обладнанням, а також робити ремонт електрообладнання особам, не пов'язаним з цією роботою.

4. ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБІТ

4.1 Вимкнути електрообладнання від мережі.

4.2 Вимкнути автомат і рубильник.

4.3 Провести прибирання робочого місця.

4.4 Йдучи з приміщення вимкнути світло і закрити вікна.

ЗАГАЛЬНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Автоматизація виробництва - це широке використання у виробничих процесах автоматичного і автоматизованого обладнання, в якому функції управління і контролю передані керуючим і автоматичним пристроям (автоматам).

Об'єкт управління – означає систему (технічну, біологічну, соціальну), в якій протікає керований процес.

Керуючий пристрій (регулятор) - технічний засіб (найчастіше мікропроцесорний пристрій), який впливає на об'єкт управління відповідно до закладеного законом управління.

Технічна система управління - сукупність технічних засобів, що мають між собою електричні, пневматичні, гідравлічні або інші інформаційні зв'язки, що використовуються для управління виробничими або іншими процесами.

Система автоматичного управління (САУ) – різновид систем управління, що включає технічні засоби, які забезпечують автоматичний збір, обробку інформації, в тому числі прийняття рішення і реалізацію прийнятого рішення. Витрати праці людини необхідні тільки для контролю функціонування і обслуговування системи. Автоматична система управління складається з керованого об'єкта і автоматичного керуючого пристрою, взаємодіючих між собою. Об'єктів і керуючих пристроїв в системі може бути кілька.

Автоматизована система управління (виробництвом або технологічним процесом) - різновид систем управління, що включає технічні засоби, які забезпечують заміну фізичної та розумової праці людини, але вимагають, однак, витрат праці для свого обслуговування і виконання окремих функцій управління.

Система автоматичного регулювання (САР) – замкнута САУ, побудована за принципом управління за відхиленням.

Регулятор – керуючий пристрій у замкнутій системі автоматичного регулювання.

Принципи управління:

- управління по відхиленню - використовують в замкнутих САУ. Наприклад, при регулюванні рівня води в баку водокачки неконтрольовані обурення по навантаженню об'єкта (зміна витрати води) або по каналу регулюючого впливу (зміна подачі насоса) автоматично компенсуються в процесі стабілізації регульованого параметра (рівня). Недолік управління по відхиленню - низькі експлуатаційні характеристики в разі значної інерційності об'єкта;

- управління за обуренням - використовують в розімкнутих САУ. Керуючий вплив приймають, виходячи з аналізу діючих на систему збурень. Наприклад, рішення про завантаження бункера приймають за результатами аналізу витрачання кормів у зв'язку з тим, що безперервний контроль рівня сипучих матеріалів скрутний; Недоліки управління з обуренням - накопичення

помилки регулювання і нездатність керуючого пристрою компенсувати незаплановані обурення;

- комбінованого управління - це комбінація принципів регулювання по відхиленню і обуренню. Наприклад, система управління обігрівом включає в себе замкнуту САУ температурою електрообігріву підлоги і розімкнуту систему включення інфрачервоного обігріву в залежності від температури повітря.

Стійкість систем регулювання. Лінійна система називається стійкою, якщо при виведенні її зовнішніми впливами зі стану рівноваги (спокою) вона повертається в нього після припинення зовнішніх впливів. Якщо після припинення зовнішнього впливу система не повертається до стану рівноваги, то вона є нестійкою. Для нормального функціонування системи управління необхідно, щоб вона була стійкою, тому що в іншому випадку в ній виникають великі помилки.

Якість управління - це комплекс вимог, які визначають поведінку системи в сталому і перехідному режимах відпрацювання керуючого впливу.

Класифікація показників якості складається з декількох груп:

прямі - визначаються безпосередньо по перехідній характеристиці процесу,

кореневі - визначаються по кореням характеристичного полінома,

частотні - по частотних характеристиках,

інтегральні - отримані шляхом інтегрування функцій.

Прямими показниками якості процесу управління, які визначаються безпосередньо по перехідній характеристиці є:

- Стале значення вихідної величини,
- Ступінь загасання,
- Час досягнення першого максимуму,
- Час регулювання,
- Помилка регулювання,
- Перерегулювання,
- Динамічний коефіцієнт регулювання,
- Показник коливальності.

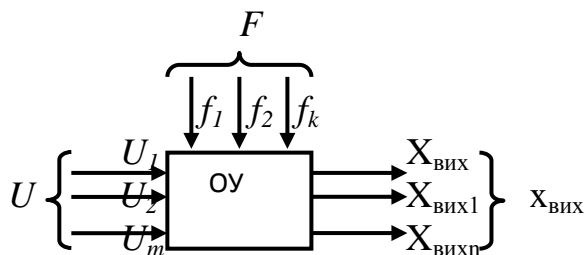
Лабораторна робота № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТІВ УПРАВЛІННЯ

1 Електрична піч як об'єкт регулювання

Процес, агрегат, пристрій, що підлягають управлінню, називається *об'єктом управління (ОУ)*.

Якщо у системі реалізується тільки принцип управління за відхиленням, то термін уточнюється та об'єкт називається об'єктом регулювання. Абстрагуючись від фізичної природи процесів, що перебігають у об'єкті. Його конструктивних особливостей, стан найпростішого одномірного об'єкта визначається набором величин, представлених на рис. 1.1.



$X_{вих}$ – вектор стану, набір величин, за значенням яких судять про стан об'єкту управління; U – вектор управління, - сукупність дій на об'єкт, що управляють, забезпечують необхідне значення $X_{вих}$; F - вектор обурення.

Рисунок 1.1 – Характеристики об'єкту управління

Для вирішення задач аналізу та синтезу систем автоматичного регулювання (САР) необхідно формалізувати взаємозв'язок цих величин у вигляді статичних та динамічних характеристик.

Статичні характеристики встановлюють взаємозв'язок між вхідною і вихідною величинами в сталому режимі, тобто коли вхідні і обурюючі дії, що діють на об'єкт, не змінюються в часі.

Об'єкт, що має статичну характеристику, називається *статичним* об'єктом. Об'єкти, у яких після нанесення обурення не настає рівноважного стану і тому не можливо побудувати статичну характеристику, називаються *астатичними*.

Динамічні характеристики визначають зміну вихідної величини об'єкта в часі при зміні вхідної величини або обурення. Для дослідження динамічних властивостей об'єкта використовуються типові обурюючі впливи, найпоширенішим з яких є однократний ступінчастий вплив.

Крива розгону – це зміна вихідної величини в часі при одноразовій ступінчастій зміні вхідної величини.

Крива розгону може бути побудована із перехідної характеристики, яка отримана при рішенні неоднорідного дифференційного рівняння, що описує об'єкт, або отримана експериментально.

Із кривої розгону згідно з рис. 1.2 визначають динамічні параметри об'єкта: запізнення, сталу часу та коефіцієнт передачі.

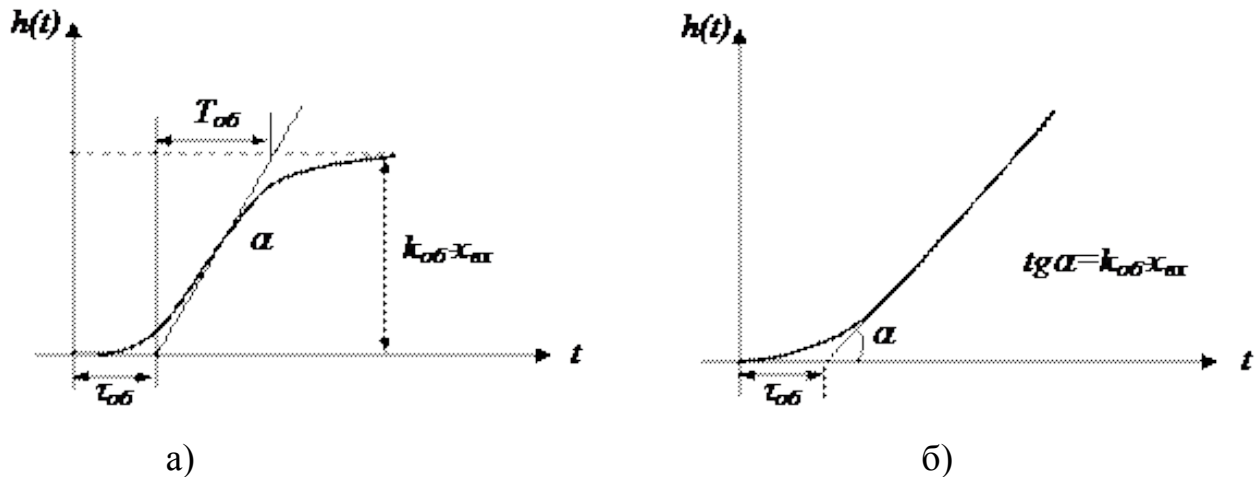


Рисунок 1.2 – Криві розгону та динамічні параметри статичного (а) та астатичного (б) об'єктів

Для визначення характеристик кривою розгону використовується метод дотичної: на найкрутішій ділянці кривої вибирається крапка і до неї проводиться дотична, яка відсікає на часовій вісі відрізки, відповідні транспортному запізнюванню і сталій часу об'єкту.

Величина запізнення складається із чистого (транспортного) та ємнісного (перехідного) запізнення.

Для статичних об'єктів відрізок часу від моменту перетину дотичної з лінією початкового сталого значення називається сталою часу об'єкту $T_{об}$.

Коефіцієнт передачі статичного об'єкту являє собою приріст вихідної величини об'єкту при переході із початкового до нового сталого стану, віднесене до величини обурення на вході. У загальному вигляді при різних величинах обурюючих впливів коефіцієнт передачі об'єкту визначається за кривою розгону із співвідношення:

$$K_{об} = \frac{X_{вих}(\infty) - X_{вих}(0)}{\Delta X_{вх}},$$

де $X_{вих}(0)$ – значення вихідної величини у початковому сталому стані;

$X_{вих}(\infty)$ - значення вихідної величини у новому сталому стані;

$\Delta X_{вх}$ – величина обурення, що наноситься на об'єкт.

Для астатичних об'єктів використовують умовних коефіцієнт передачі, який визначається як стале значення швидкості зміни вихідної величини при одиничному обуренні. Тангенс кута нахилу дотичної до вісі абсцис визначає швидкість зміни вихідної величини (рис. 1.2, б):

$$\bar{K}_{об} = \frac{tg \alpha}{\Delta X_{вх}}$$

Стала часу визначається із співвідношення:

$$\bar{T}_{об} = \frac{1}{\bar{K}_{об}}$$

Розроховані параметри використовуються для спрощених інженерних методів вибору типу регулятора та розрахунку його настроювань.

2 Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається із електричної печі опору та щита приладів і засобів автоматизації. У піч вмонтований термоелектричний перетворювач типу ТХК. На щиті розташовані вимірювальний та реєструючий прилад РП-160, автоматичний регулятор, перемикач режимів роботи, прибор для контролю напруги у печі КСП-1, автоматичний задавач та кнопчна станція або блок ручного керування.

3 Порядок виконання роботи

1. При відключеному живленні ознайомитися із лабораторною установкою.

2. Включити живлення печі і приладів.

3. Відкрити передню кришку прибору РП-160, включити живлення та привід діаграмної стрічки, замкнувши клеми навпроти позначки 240 мм/год. Для створення натягнення діаграмної стрічки використати обтяжувачі.

4. Перемикач режимів перевести на режим «ручний».

5. Органами ручного керування встановити початкове нульове значення напруги (контролювати по прибору КСП-1). Зафіксувати початкову температуру печі по прибору РП-160.

6. Збільшити напругу печі на 10% та зняти криву розгону електричної печі. При цьому необхідно дочекатися сталого значення температури, яке має вигляд вертикальної лінії на діаграмній стрічці. Вертикальна ділянка має бути довжиною не менше 1 см для зручності подальшої обробки кривої розгону.

7. Занести значення напруги живлення печі та відповідної температури до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Результати експериментів

Напруга живлення печі, %	10	20	30	4	50	60	70	80
Температура печі при нагріванні, °С								
Температура печі при охолодженні, °С								

8. Повторити п.п. 6, 7 у всьому діапазоні напруги живлення.
9. За даними таблиці 1.1 побудувати статичну характеристику електричної печі у координатах $T = f(U)$.
10. За кривими розгону методом дотичної визначити динамічні показники об'єкта: транспортне запізнення, сталу часу та коефіцієнт передачі.
11. Розрахувати середні значення динамічних показників τ_{cp} , T_{cp} , K_{cp} .
12. Записати передавальну функцію електричної печі як об'єкта регулювання у вигляді:

$$W(s) = \frac{K_{cp}}{T_{cp} \cdot s + 1} e^{-\tau_{cp} \cdot s}$$

13. Зробити висновок про вид статичної характеристики об'єкта та характер зміни динамічних показників у залежності від температури.

4 Контрольні питання

1. Дайте визначення поняття статичної характеристики.
2. Перерахуйте види об'єктів з огляду на наявність або відсутність у них статичної характеристики.
3. Перерахуйте види статичних характеристик.
4. Дайте визначення поняття кривої розгону.
5. Опишіть сутність методу дотичної при визначенні динамічних властивостей об'єкта.
6. Перерахуйте динамічні властивості об'єкта.
7. Перерахуйте види типових елементарних ланок.
8. Дайте визначення поняття передавальної функції.
9. Перерахуйте види з'єднання ланок.
10. Апроксимація об'єктів типовими елементарними ланками.

Лабораторна робота № 2

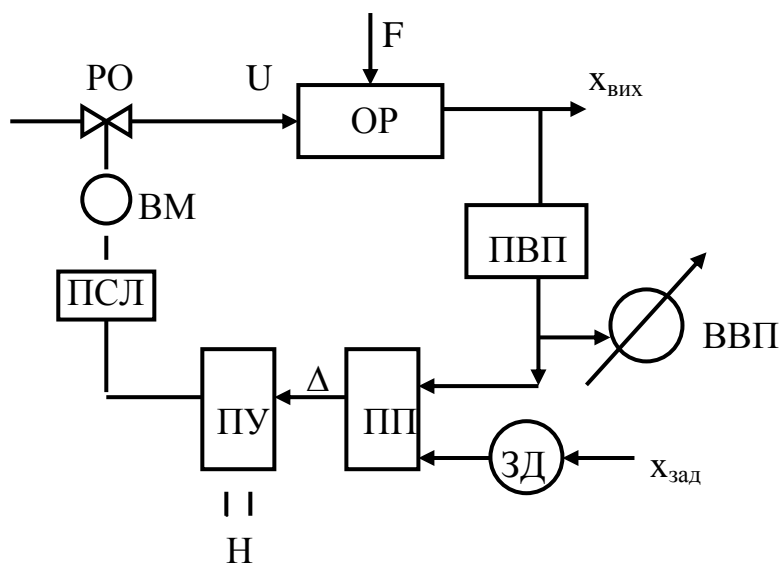
ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ АВТОМАТИЧНИХ РЕГУЛЯТОРІВ

1 Склад та принцип дії регуляторів

Регулятором називається управляючий пристрій, включений в ланцюг негативного зворотного зв'язку по відношенню до об'єкту і впливає на об'єкт таким чином, що забезпечується необхідне значення вихідної величини об'єкту незалежно від прикладених обурень.

На рис. 12.1 наведена загальна схема автоматичного управління, в якій елементарні ланки розділені за виконуваними функціями.

Представлена схема працює таким чином: сигнал, що характеризує стан об'єкту ($X_{\text{вих}}$), за допомогою первинного перетворювача перетворюється з неелектричного в електричний. Далі цей сигнал передається одночасно на вторинний показуючий прибор для моніторингу і на пристрій порівняння. Для оцінки стану об'єкту поточний сигнал порівнюється з іншим сигналом, який визначає бажаний стан об'єкту. Цей сигнал називається завданням і вводиться в пристрій порівняння за допомогою задатчика. Завдання може бути встановлене оператором уручну або бути одержано від ЕОМ.



ПВП – первинний вимірювальний перетворювач (термопара, датчик аналізатора); *ВВП* – вторинний вимірювальний прибор для можливого візуального контролю; *Н* – настройки; *ОР* – об'єкт регулювання; *ЗД* – задатчик; *ПП* – пристрій порівняння; *ПУ* – управляючий пристрій (регулятор); *ПСЛ* – підсилювач; *ВМ* – виконавчий механізм; *РО* – регулюючий орган

Рисунок 12.1 - Функціональна схема системи автоматичного регулювання

Пристрій порівняння формує сигнал розузгодження $\Delta = X_{\text{зад}} - X_{\text{вих}}$, яких поступає на управляючий пристрій, де формується управляюча дія U . Оскільки цей сигнал дуже слабкий, то перед виконавчим механізмом ставиться

підсилювач потужності. Регулюючий орган змінює матеріальний або енергетичний потік, що поступає в об'єкт регулювання.

У конкретних випадках окремі елементи можуть бути суміщені, віднесені до об'єкта управління або взагалі виключені. Наприклад, частіше до об'єкта відносять виконавчі механізми та регулюючі органи.

2 Типові закони регулювання

Рівняння, яке встановлює взаємозв'язок в часі між вхідною величиною регулятора $\Delta(p)$ і вихідний величиною $U(p)$, називається законом *регулювання* або *алгоритмом управління*.

Алгоритм управління реалізується в регуляторі за допомогою налаштувань.

1. Пропорційний або П-закон регулювання

Вихідна величина регулятора (управляюча дія) U визначається рівнянням:

$$U = k_{рег} \cdot \Delta,$$

а передавальна функція регулятора:

$$W(p) = k_{рег}$$

Достоїнства: 1. Швидко включається в роботу (безінерційний);

2. Має одну налаштування Крег.

Недолік: наявність статичної помилки.

2. Інтегральний або І-закон регулювання

Алгоритм управління реалізує рівняння:

$$U = \varepsilon \int \Delta dt$$

У І-регуляторі при появі сигналу розузгодження змінюється швидкість переміщення регулюючого органу:

$$\frac{dU}{dt} = \varepsilon \cdot \Delta,$$

де ε – швидкість регулювання або коефіцієнт передачі.

Достоїнства: 1. Відсутність статичної помилки;

2. Має одну налаштування ε .

Недолік: регулювання затягується в часі.

3. *III (пропорційно-інтегральний або ізодромний) закон регулювання* реалізує алгоритм управління:

$$U = k_{рег} \cdot \Delta + \varepsilon \int \Delta dt = k_{рег} \left(\Delta + \frac{1}{T_i} \int \Delta dt \right)$$

де $k_{рег}$ – коефіцієнт передачі регулятора;
 T_i – час ізодрома.

У даному регуляторі суміщені достоїнства П-регулятора (швидкодія) і І-регулятора (відсутність статичної помилки).

Передавальна функція:

$$W_{рег}(p) = \frac{U(p)}{\Delta(p)} = k_{рег} \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot p} \right)$$

Структурна схема – це дві паралельно з'єднаних ланки: пропорційна ланка і інтегруюча ланка. При виникненні сигналу розузгодження ПІ-регулятор в перший момент часу працює як пропорційний (швидко включається в роботу і зменшує розузгодження), а потім як інтегральний (компенсує статичну помилку) регулятор.

ПІ-регулятор має 2 настроювання: $K_{рег}$ та T_i .

4. ПІД (пропорційно-інтегрально-диференціальний або ізодромний регулятор з передуванням)

Алгоритм управління представляється рівнянням:

$$U = k_{рег} \left(\Delta + \frac{1}{T_i} \int_0^{\infty} \Delta dt + T_d \frac{d\Delta}{dt} \right)$$

де $k_{рег}$ – коефіцієнт передачі регулятора;

T_i – час ізодрома;

T_d – час диференціювання (передування).

Достоїнство: висока якість регулювання.

Недолік: 3 настроювання, потрібен попередній розрахунок настройок.

ПІД-регулятор має 3 настроювання: $K_{рег}$, T_i та T_d .

Перед практичним використанням регуляторів виконують градування параметрів регулятора. Градування відбуваються шляхом зняття ряду кривих розгону регулятора при різних настроюваннях.

3 Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається із електричної печі опору та щита приладів і засобів автоматизації. У піч вмонтований термоелектричний

перетворювач типа ТХК. На щиті розташовані вимірювальний та реєструючий прилад РП-160, автоматичний регулятор, перемикач режимів роботи, прибор для контролю напруги у печі КСП-1, автоматичний задавач та кнопчна станція або блок ручного керування.

4 Порядок виконання роботи

1. При відключеному живленні ознайомитися із лабораторною установкою.

2. Висунути автоматичний регулятор, відкривши доступ до органів керування

3. Включити живлення приладів на щиті.

4. Провести градування настроювання Крег за наступним алгоритмом:

4.1. Перемикач режимів роботи встановити у положення «ручний».

4.2. Настроювання Ті виключити.

4.3. Орган настроювання Крег встановити на першу оцифровану відмітку.

4.4. На задатчику встановити завдання 10-20 %

4.5. Перемикач режимів роботи переключити у положення «автоматичний»

4.6. По прибору КСП-1 зафіксувати значення вихідного сигналу регулятора. Дані занести до табл. 12.1.

4.7. Повторити підпункти 4.1-4.6 для всіх значень градування Крег.

Таблиця 12.1 – Результати градування настроювання Крег

Настроювання Крег, встановлене на регуляторі	Величина завдання, %	Величина вихідного сигналу, %	Розраховане значення настроювання К*рег

4.8. Розрахувати значення настроювання К*рег:

$$K_{\text{рег}}^* = \frac{X_{\text{вих}}}{X_{\text{завд}}}$$

5. Провести градування настроювання Ті за наступним алгоритмом:

5.1. Перемикач режимів роботи встановити у положення «ручний».

5.2. Встановити значення настроювання Крег в діапазоні від 1 до 10. Підбирається дослідним шляхом для конкретного регулятора.

5.3. При відключеному настроюванні Ті встановити завдання на рівні 10-50% та переключити перемикач режимів роботи переключити у положення «автоматичний».

5.4. Зафіксувати та запам'ятати значення вихідного сигналу на приборі КСП-1.

5.5. Перемикач режимів роботи встановити у положення «ручний».

5.6. Орган настроювання Ті встановити на першу оцифровану відмітку.

5.7. Перемикач режимів роботи переключити у положення «автоматичний»

5.8. За допомогою секундоміра зафіксувати час удвоєння вихідного сигналу. Відлік починати з моменту, коли стрілка прибору КСП-1 досягне значення за п. 5.4 та закінчити, коли стрілка пройде такий же відрізок по шкалі. Наприклад, у п. 5.4 стрілка пройшла від 0 до 25 %, отже, секундомір включається на відмітці 25%, а виключається на 50%.

5.9. Дані достіжень занести у таблицю 12.2.

Таблиця 12.2 – Результати градуювання настроювання T_i

Настроювання T_i , встановлене на регуляторі, с				
Час удвоєння вихідного сигналу регулятора $T_{уд}$, с				

6. Побудувати градуювальні графіки настроювань регулятора у вигляді $K^*_{рег} = f(K_{рег})$ та $T_i = f(T_{уд})$.

7. Да формулами, наведеними у Додатку В, розрахувати настроювання для П та ІІІ-законів регулювання для всіх видів перехідних процесів.

5 Контрольні питання

1. Дайте визначення поняття регулятора.
2. Дайте опис складу та принципу дії регулятора
3. Перерахуйте типові закони регулювання
4. Запишіть диференційні рівняння та передавальні функції типових законів регулювання.
5. Дайте опис методики проведення градуювання настроювань регулятора.
6. Нарисуйте криві розгону типових законів регулювання.

Лабораторна робота № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЯКОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ

1 Стійкість систем автоматичного регулювання

Будь-яка система автоматичного управління повинна бути працездатною, тобто забезпечувати поставлену мету управління. Так, в системі, що стежить, вихідний сигнал повинен якомога точніше повторити дію завдання. Будь-яка реальна дія, зазвичайно, обмежена по амплітуді, тому в працездатній системі

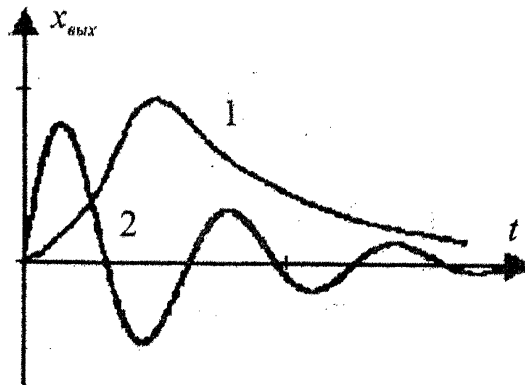
вихідний сигнал також обмежений. Якщо вихідний сигнал з часом необмежено зростає, то система є неприцездатною.

Під *стійкістю системи* розуміється здатність системи повертатися до початкового або близького до початкового рівноважного стану при припиненні дії обурення.

Вимога забезпечення стійкої роботи є першою і обов'язковою вимогою, яка пред'являється до системи. Про стійкість судять по вигляду перехідних процесів, які виникають в системі.

З точки зору стійкості системи підрозділяються на:

- **стійкі**, характеризуються наявністю в системі аперіодичних (рис. 13.1, крива 1) або коливальних затухаючих (рис. 13.1, крива 2) перехідних процесів.

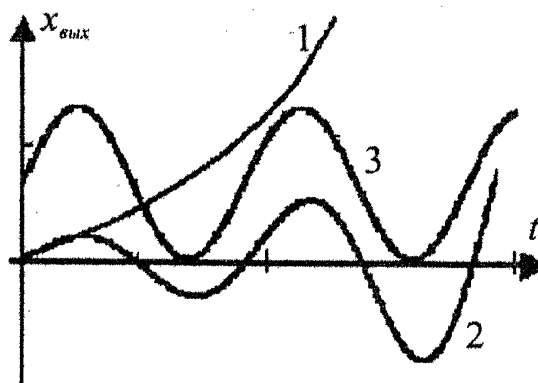


1 – аперіодичний перехідний процес; 2 – коливальний перехідний процес

Рисунок 13.1 - Перехідні процеси в стійких системах

- **нестійкі**, характеризуються наявністю в системі коливальних процесів, що розходяться (рис. 13.2, крива 2) і перехідних, у вигляді монотонного нескінченного зростання або зростання вихідної величини (рис. 3.2, крива 1).

- **на межі стійкості**, що характеризуються наявністю в системі коливальних незгасаючих перехідних процесів, які носять назву *автоколивань* (рисунок. 13.2, крива 3).



1 – аперіодичний перехідний процес; 2 – коливальний перехідний процес; 3 – автоколивальний перехідний процес

Рисунок 13.2 - Перехідні процеси в нестійких системах

При рішенні задач синтезу САУ вид перехідного процесу невідомий, тому виникає задача теоретичного аналізу стійкості системи шляхом знаходження коренів характеристичного рівняння диференційного рівняння, яке описує перехідні процеси у системах.

У загальному випадку корені характеристичного рівняння записується у вигляді комплексних чисел $z=\alpha\pm i\beta$. Розташувавши корені на комплексній площині, можна зробити висновок про стійкість системи. Для стійкості системи необхідно, щоб всі корені знаходилися з лівого боку комплексної площини (тобто були лівими).

Якщо корені потрапляє на вісь ординат ($\alpha=0$) – то система знаходиться на межі стійкості. Праві корені свідчать про нестійкість системи.

У зв'язку з неможливістю аналітичного знаходження коренів характеристичного рівняння вище за другий порядок, були розроблені критерії, які дозволяють, не вирішуючи рівняння, зробити висновок про стійкість системи. На практиці застосовуються алгебраїчний критерій Гурвиця-Рауса та частотні критерії Михайлова та Найквіста-Михайлова.

2 Якість регулювання. Прямі показники якості регулювання

Вимога забезпечення стійкої роботи є обов'язковою вимогою, але недостатньою. Практичну придатність застосування системи визначають за показниками якості перехідного процесу, що виникає при одноразовій ступінчастій дії.

Для оцінки якості регулювання використовують наступні показники перехідного процесу (рис. 13.3):

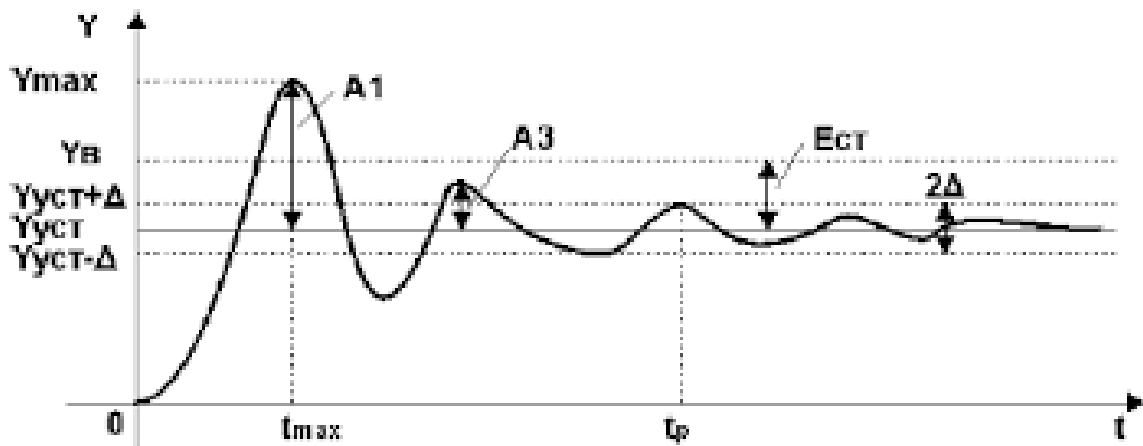


Рисунок 13.3 – Показники якості перехідного процесу

1. Статична похибка

$\Delta = Y_{уст} - Y_{вих}(\infty)$ - різниця між заданим і вихідним сигналом в сталому режимі.

сталому режимі.

2. Динамічна похибка

$\Delta x_{вих}^{max}$ – це найбільше відхилення вихідної величини від завдання в процесі регулювання:

$$\Delta U_{вих}^{max} = A_1 = U_{уст} - U^{max}$$

3. Час регулювання (тривалість перехідного процесу)

Δt_p – час, за який вихідна величина зміниться до сталого значення

4. Коливальність перехідного процесу

- ступінь перерегулювання $\delta = \frac{A_2}{A_1} \cdot 100\%$

- ступінь загасання $\psi = \frac{A_1 - A_3}{A_2}$

Ці показники визначаються безпосередньо по кривій перехідного процесу, тому вони називаються прямими показниками якості.

3 Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається із електричної печі опору та щита приладів і засобів автоматизації. У піч вмонтований термоелектричний перетворювач типа ТХК. На щиті розташовані вимірювальний та реєструючий прилад РП-160, автоматичний регулятор, перемикач режимів роботи, прибор для контролю напруги у печі КСП-1, автоматичний задавач та кнопчна станція або блок ручного керування.

4 Порядок виконання роботи

1. При відключеному живленні ознайомитися із лабораторною установкою.

2. Перемикач режимів перевести на режим «ручний».

3. Перемикач виду роботи встановити у положення «Система».

4. Відкрити передню кришку прибору РП-160, включити живлення та привід діаграмної стрічки, замкнувши клеми навпроти позначки 240 мм/год. Для створення натяжіння діаграмної стрічки використати обтяжувачі.

5. Висунути автоматичний регулятор, відкривши доступ до органів керування.

6. За результатами розрахунків за п. 7 та градуовальними графіками Лабораторної роботи № 12 встановити на регуляторі значення настроювані Крег та Ті, що відповідають аперіодичному перехідному процесу.

7. На задатчику встановити завдання 10-20 %. При подальшій роботі значення завдання необхідно збільшувати або зменшувати на 10-30 %.

8. Перемикач режимів роботи переключити у положення «автоматичний»

9. Спостерігаючи за прибором РП-160, дочекатися завершення перехідного процесу. Індикатором завершення є сталість значення температури, яке має вигляд вертикальної лінії на діаграмній стрічці. Вертикальна ділянка

має бути довжиною не менше 1 см для зручності подальшої обробки перехідного процесу.

10. Перемикач режимів перевести на режим «ручний».

11. Повторити п. 6, 7, 8, 9, 10 для коливальних перехідних процесів.

12. Зняти не менше 2 перехідних процесів на 1 студента.

12. Зняти діаграмну стрічку з прибору.

13. За графіками перехідних процесів визначити прямі показники якості.

Занести результати у табл. 13.1.

Таблиця 13.1 – Прямі показники якості

Вид п.п Показ- ник якості	Аперіодичний	Із 20-відсотковим перерегулюванням	Із 40-відсотковим перерегулюванням
Статична похибка			
Динамічна похибка			
Час регулювання			
Ступінь перерегулювання			
Ступінь загасання			

14. Зробити висновок про якість системи автоматичного регулювання.

5. Контрольні питання

1. Дайте визначення стійкості САР.

2. Розподіл САР з погляду стійкості.

3. Випадки використання критеріїв стійкості.

4. Перерахуйте прямі показники якості.

5. Дайте визначення статичної похибки.

6. Дайте визначення динамічної похибки.

7. Дайте визначення часу регулювання.

8. Дайте визначення ступіні перерегулювання.

9. Нарисуйте перехідні процеси у стійкій системі.

10 Нарисуйте перехідні процеси у нестійкій системі.

11. Назвіть системи, у яких виникають автоколивання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Основні

1. Проць Я. І., Савків В. Б., Шкодзінський О. К., Ляшук О. Л. Автоматизація виробничих процесів : навчальний посібник. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344с.
2. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування : підручник. Київ : Либідь, 2007. 656 с.
3. Иванов Н. И., Парсункин Б. Н., Рябков В. М. Автоматизация производственных процессов в черной металлургии : учеб. пособие для вузов. Москва : Металлургия, 1980. 303 с.
4. Асоціація Підприємств Промислової Автоматизації України. URL: <https://appau.org.ua> (дата звернення 04.09.2019 р.).
5. Школа для електрика. Датчики технологічних параметрів. URL: <http://electricalschool.info> (дата звернення 04.09.2019 р.).
6. Контеч-Систем.ЛТД. Датчики тиску. URL: <http://kontech-system.com.ua/articles/datchiki-davlenija-tipy-harakteristiki-osobennosti-podbor/> (дата звернення 04.09.2019 р.).

Додаткові

1. Гончаров А. Н. Автоматизация моделирования систем управления технологическими процессами на основе человеко-машинного комплекса имитации. *Математичні машини і системи*. 2009. № 1. С. 110-116.
2. Дуэль М. А., Канюк Г. И. Автоматизация технологических процессов и ее влияние на эффективность энергопроизводства ТЭС и АЭС. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2011. № 5/8(53). С. 15-22.
3. *Измерительные приборы и системы*: научно-технический журнал. 2008. № 4. 80 с.
4. Алиев Т. М., Алиев Р. А., Халдей З. В. Автоматизация информационных процессов в интегрированных АСУ промышленными предприятиями. Москва : Энергоиздат, 1981. 141 с.
5. Березовский С. В., Зубенко А. В., Кривицкий А. В. Реальная автоматизация предприятий Украины. *Корпоративные системы*. 2002. № 4. С. 24-29.
6. Богуслаев А. В., Мозговой В. Ф., Балушок К. Б. Автоматизация технологической подготовки производства ОАО «Мотор Сич» в среде АСПП на базе TechCARD/Search. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2010. № 3/3(45). С. 9-12.
7. Коваль І. Інновації в металургії: як «цифра» запобігає «втомі металу». URL: <https://mind.ua/publications/20203042-innovaciyi-v-metalurgiyi-yak-cifra-zapobigae-vtomi-metalu> (дата вернення 25.02.2020 р.)

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

Основні

1. Теорія автоматичного управління : підручник для внз / Г. Ф. Зайцев та ін. ; за заг. ред. Г. Ф. Зайцевевої. Київ : Техніка, 2002. 686 с.
2. Пазюк М. Ю., Овчинникова І. А. Автоматизація технологічних процесів : методичні вказівки до розробки технічного проекту систем автоматизації. Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 74 с.
3. Асоціація Підприємств Промислової Автоматизації України. URL: <https://appau.org.ua> (дата звернення 04.09.2019 р.).
4. Школа для електрика. Датчики технологічних параметрів. URL: <http://electricalschool.info> (дата звернення 04.09.2019 р.).
5. Контеч-Систем.ЛТД. Датчики тиску. URL: <http://kontech-system.com.ua/articles/datchiki-davlenija-tipy-harakteristiki-osobennosti-podbor/> (дата звернення 04.09.2019 р.).
6. Ельперін І. В., Пупена О. М., Сідлецький В. М., Швед С. М. Автоматизація виробничих процесів : підручник. Київ : Ліра-К, 2015. 378 с.

Додаткові

1. *Измерительные приборы и системы*: научно-технический журнал. 2008. № 4. 80 с.
1. Альперович М. Е. Автоматизация и оптимизация основных процессов спецэлектрометаллургии. Москва : Metallurgiya. 1990. 177 с.
2. Вольфман И. Б., Буглак Л. И., Ефроймович С. Ю. Автоматизация методических печей. Москва : Metallurgiya, 1981. 195 с.

Додаток А

Визначення параметрів регулятора за видами перехідних процесів

Вид п.п. Тип регулятора	Аперіодичний	Із 20-відсотковим перерегулюванням	Із 40-відсотковим перерегулюванням
П	$K_p = \frac{0,3T_{об}}{K_{об} \cdot \tau_{об}}$	$K_p = \frac{0,7T_{об}}{K_{об} \cdot \tau_{об}}$	$K_p = \frac{0,9T_{об}}{K_{об} \cdot \tau_{об}}$
І	$\varepsilon = \frac{1}{4,5 \cdot K_{об} \cdot T_{об}}$	$\varepsilon = \frac{1}{1,7 \cdot K_{об} \cdot T_{об}}$	$\varepsilon = \frac{1}{1,7 \cdot K_{об} \cdot T_{об}}$
Ш	$K_p = \frac{0,6T_{об}}{K_{об} \cdot \tau_{об}}$ $T_i = 0,6 \cdot T_{об}$	$K_p = \frac{0,7T_{об}}{K_{об} \cdot \tau_{об}}$ $T_i = 0,7 \cdot T_{об}$	$K_p = \frac{T_{об}}{K_{об} \cdot \tau_{об}}$ $T_i = 1 \cdot T_{об}$
ШД	$K_p = \frac{0,95T_{об}}{K_{об} \cdot \tau_{об}}$ $T_i = 2,4 \cdot T_{об}$ $T_d = 0,4 \cdot T_{об}$	$K_p = \frac{1,2T_{об}}{K_{об} \cdot \tau_{об}}$ $T_i = 2 \cdot T_{об}$ $T_d = 0,4 \cdot T_{об}$	$K_p = \frac{0,95T_{об}}{K_{об} \cdot \tau_{об}}$ $T_{и} = 1,3 \cdot T_{об}$ $T_d = 0,5 \cdot T_{об}$