

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсової роботи з дисципліни
«АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСІВ І ВИРОБНИЦТВ»

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти
денної та заочної форм навчання
за спеціальностями:

151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка

(Електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри комп'ютерно-
інтегрованих систем управління
Протокол № 5 від 24 грудня 2025 р.

Київ 2026

УДК 22.151.3

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Автоматизація технологічних процесів і виробництв» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти денної та заочної форм навчання за спеціальностями: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка (Електронне видання) / Укл. : П. Й. Єлісеєв, Л. В. Карпюк. Київ: Вид-во Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2026. 157 с.

Приведені матеріали, необхідні для виконання курсової роботи з дисципліни «Автоматизація технологічних процесів і виробництв». Описані основні теоретичні положення автоматизації технологічних процесів, технічні засоби автоматизації, мета курсової роботи, порядок виконання та варіанти.

Укладачі: П. Й. Єлісеєв, к.т.н., доцент
Л. В. Карпюк, ст. викладач

Відповідальний за випуск: П. Й. Єлісеєв, к.т.н., доцент

Рецензент М. Г. Лорія д.т.н., проф.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	4
1. Загальні положення.....	5
2 Завдання на виконання курсової роботи.....	6
3 Зміст і структура курсової роботи.....	6
4 Вимоги до оформлення розрахунково-пояснювальної записки ...	9
5 Графічна частина роботи.....	16
6 Основні теоретичні відомості.....	29
7 Виконання типового завдання.....	47
8 Підготовка до захисту і порядок захисту курсової роботи.....	69
Контрольні запитання.....	70
Перелік джерел посилання.....	71
Додаток А. Бланк завдання на курсову роботу.....	72
Додаток Б. Титульний лист курсової роботи.....	73
Додаток В. Теми курсових робіт.....	74
Додаток Г. Передавальні функції стандартних елементів.....	76
Додаток Д. Приклади розрахунків елементів АСР із застосуванням пакету прикладних програм «Maple».....	77
Додаток Е. Приклади розрахунків елементів АСР із застосуванням пакету прикладних програм «MatLab».....	80
Додаток Ж. Приклад виконання основних розділів курсової роботи.....	93

ВСТУП

Основна мета даних методичних рекомендацій полягає у наданні допомоги студентам у виконанні курсової роботи з дисципліни «Автоматизація технологічних процесів і виробництв». З урахуванням змісту навчальної дисципліни наведено цілі курсової роботи, рекомендації до вибору вихідних даних, загальну структуру і правила оформлення курсової роботи, а також рекомендації з підготовки до захисту і порядок захисту курсової роботи.

Курсова робота з дисципліни виконується з метою придбання студентами навичок проєктування автоматичних систем керування технологічних установок і умінням застосовувати на практиці отримані теоретичні знання.

В результаті виконання курсової роботи студент повинен вміти аналізувати технологічний процес як об'єкт автоматизації, визначати вхідні і вихідні координати об'єкта та основні збурення, виявляти фактори, що визначають ефективність технологічного процесу, синтезувати контури автоматичного регулювання, реєстрації, сигналізації і блокування, вибирати комплекс засобів автоматизації та розробляти алгоритми та програмне забезпечення для реалізації функцій управління технологічним процесом.

1 Загальні положення

1. Курсова робота виконується відповідно до теми, затвердженої в установленому порядку.

2. Тема курсової роботи може бути запропонована студентом та погоджена з керівником роботи.

3. При формулюванні теми курсової роботи заповнюється бланк завдання на курсову роботу (форма завдання наведена в Додатку А).

4. Додаткові дані для виконання курсової роботи студент отримує самостійно на основі детального вивчення технічної літератури, стандартів на норми та правила розроблення систем автоматизації технологічних процесів.

5. У процесі виконання курсової роботи студент зобов'язаний дотримуватися графіка, який затверджується до початку надання завдання, і своєчасно представляти результати виконаної роботи на перевірку керівникові роботи.

6. Закінчений курсова робота повинна бути захищена студентом у встановлені терміни. За результатами виконаної роботи та захисту курсової роботи студентів виставляється оцінка за 100-бальною шкалою.

Курсова робота складається з описової частини обсягом 30-40 сторінок тексту форматом А4 та графічної частини.

Титульну сторінку оформляють відповідно Додатку Б.

Рекомендованими об'єктами автоматизації для курсової роботи є типові технологічні процеси в конкретному апаратному оформленні хімічної, теплоенергетичної, водогосподарської, харчової та інших галузей:

- Теплообмінні процеси.
- Хімічні процеси.
- Печі і котельні установки.
- Випарювання.
- Випаровування.
- Кристалізація.
- Абсорбція.
- Адсорбція.
- Десорбція.
- Екстракція.
- Ректифікація.
- Реакційні процеси.

2 Завдання на виконання курсової роботи

Тема роботи. Розробка автоматизованої системи регулювання технологічного об'єкта (Додаток В).

Завдання. Розробити каскадну систему автоматичного регулювання технологічного об'єкта.

Теми курсових робіт наведені в Додатку В.

3 Зміст і структура курсової роботи

За своєю структурою курсова робота складається з:

- титульного аркуша;
- завдання (вихідних даних);
- відомості роботи;
- змісту;
- вступу;
- основних розділів;
- висновків та рекомендацій;
- переліку джерел посилання;
- додатків;
- графічної частини.

Розрахунково-пояснювальна записка має містити наступні основні розділи:

Назва етапів курсової роботи	Приблизний обсяг, стор
РЕФЕРАТ	1...2
СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	1
ВСТУП	2...3
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	до 5
2 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	2...3
3 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗАЦІЇ	3...4
4 АПАРАТУРНЕ ОФОРМЛЕННЯ ПРОЦЕСУ	2...4
5 ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ, ЯКІ ПІДЛЯГАЮТЬ АВТОМАТИЧНОМУ КОНТРОЛЮ, СТАБІЛІЗАЦІЇ, СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА БЛОКУВАННЮ	5...7

Назва етапів курсової роботи	Приблизний обсяг, стор
6 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	7...9
7 СИНТЕЗ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ	7...9
8 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	15...17
9 РОЗРАХУНОК АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ	2...3
10 РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНИХ НАЛАГОДЖЕНЬ РЕГУЛЯТОРА	7...10
11 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ СИНТЕЗОВАНОЇ АСР	5...7
ВИСНОВОК	1
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	1...2

Титульний аркуш є першою сторінкою курсової роботи. На ньому зазначається інформація про заклад вищої освіти, факультет, кафедру, навчальну дисципліну, тему курсової роботи, спеціальність, освітню програму, керівника (членів комісії), автора курсової роботи (Додаток Б).

У **завданні** наводяться вихідні дані до курсової роботи.

Номери варіантів вихідних даних наведено у Додатку В і визначаються за вказівкою викладача.

У **відомості роботи** записуються всі конструкторські і технологічні документи розроблені у роботі.

У змісті подаються назви основних розділів, підрозділів, пунктів і підпунктів (якщо вони мають заголовки) та інших елементів курсової роботи (завдання, вступ, висновки, перелік джерел посилання, назви додатків), проставляються номери сторінок, які містять початок відповідних складових курсової роботи. Розривати слова знаком переносу у змісті не дозволено.

У **вступі** коротко наводять інформацію про технології розроблення пристроїв систем автоматизації, та обґрунтовують актуальність теми курсової роботи. Вступ розташовують на окремій сторінці, його обсяг складає 1-2 сторінки.

У **розділах** курсової роботи викладаються основні матеріали: стислі теоретичні відомості, практичні питання та графічна частина до проектування, розрахунку, обґрунтування елементної бази та створення

схем. У разі необхідності розділи можуть поділятися на підрозділи, пункти, підпункти. Перед виконанням розділів рекомендується ознайомитися з методичними вказівками до кожного з них. Розрахунки необхідно виконувати з застосуванням розмірностей міжнародної системи одиниць СІ.

Структурний елемент «**Висновки**» розміщують після викладення суті ПЗ, починаючи з нової сторінки. У висновках наводяться основні результати, отримані у ході виконання роботи, та за необхідності практичні рекомендації до їх використання. Висновки обсягом до однієї сторінки розміщуються після основних розділів пояснювальної записки.

Перелік джерел, на які є посилання в основних розділах курсової роботи, наводиться у переліку джерел посилання, що розміщується після висновків на новій сторінці. У відповідних місцях тексту мають бути посилання у квадратних дужках на джерело інформації. Джерела інформації подаються у порядку, за яким вони згадуються у тексті, та оформлюються відповідно до чинних стандартів.

У **додатках**, що розміщуються після переліка джерел посилання, наводяться матеріали, розміщення яких в основних розділах є недоцільним, проте вони необхідні для забезпечення більшої повноти курсової роботи (додаткові ілюстрації, таблиці, формули, розрахунки, листинги програм тощо). Графічна частина курсової роботи має ілюструвати і доповнювати текстовий. Дана частина курсової роботи може містити структурні та функціональні схеми, принципів схеми.

Загальний обсяг і розподіл матеріалу між складовими курсової роботи, а також зміст графічної частини курсової роботи визначаються здобувачем вищої освіти за погодженням з керівником курсової роботи.

4 Вимоги до оформлення розрахунково-пояснювальної записки

Виклад тексту й оформлювання пояснювальної записки (ПЗ) виконують за положеннями стандарту ДСТУ 3008:2015.

Мова ПЗ – українська, що визначено у статті 21 Закону України «Про засади державної мовної політики».

Пояснювальна записка, як паперовий документ, друкується з використанням текстового редактора на комп'ютері та принтера на одному боці аркуша білого паперу формату А4 (210 мм x 297 мм), шрифтом Times New Roman чорного кольору прямого накреслення через півтора міжрядкові інтервали кеглем 14.

Всі сторінки записки нумеруються арабськими цифрами. Рисунки, таблиці, розташовані на окремих листах, перелік джерел посилання і додатки включають у загальну нумерацію сторінок. Всі рисунки повинні бути пронумеровані, мати пояснювальний підпис і посилання в тексті ПЗ.

Абзацний відступ має бути однаковий упродовж усього тексту ПЗ й дорівнювати п'яти знакам.

Дозволено в тексті ПЗ, крім заголовків, слова та словосполучення скорочувати згідно з правописними нормами та ДСТУ 3582.

Структурні елементи: «Реферат», «Зміст», «Вступ», «Висновки та рекомендації», «Перелік джерел посилання» — не нумерують, а їхні назви є заголовками структурних елементів.

Для розділів і підрозділів наявність заголовка обов'язкова. Пункти й підпункти можуть мати заголовки.

Заголовки структурних елементів ПЗ та заголовки розділів треба розміщувати посередині рядка, великими прописними літерами напівжирним шрифтом без крапки в кінці. Кожний розділ записки потрібно починати з нової сторінки.

Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів ПЗ потрібно друкувати з абзацного відступу з великої літери без крапки в кінці. Якщо заголовок складається з кількох речень, їх розділяють крапкою. Розривати слова знаком переносу в заголовках заборонено.

Розділи нумерують арабськими цифрами в межах викладення сутності роботи – 1, 2, 3 без крапки після цифри.

Підрозділи повинні мати нумерацію в межах розділу – 1.1; 1.2; 1.3, яка складається з номера розділу та порядкового номера підрозділу без крапки після другої цифри.

Наприклад:

	1 ХАРАКТЕРИСТИКА ГОСПОДАРСТВА
1.1 } 1.2 } 1.3 }	Нумерація пунктів першого розділу ПЗ.
	2 ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА
2.1 } 2.2 } 2.3 }	Нумерація пунктів другого розділу ПЗ.

Пункти – повинні мати нумерацію в межах кожного розділу або підрозділу – 1.1.1; 1.1.2; 1.1.3, яка складається з номера розділу, номера підрозділу та номера пункту без крапки після третьої цифри.

Підпункти – повинні мати нумерацію в межах розділу, підрозділу та пункту – 1.1.1.1; 1.1.1.2; 1.1.1.3, яка складається з номера розділу, підрозділу, пункту та порядкового номера підпункту без крапки після останньої цифри.

Наприклад:

	3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА
3.1 Назва підрозділу	
3.1.1 } 3.1.2 } 3.1.3 }	Нумерація підпунктів першого пункту третього розділу ПЗ
3.2 Назва підрозділу	
3.2.1 } 3.2.2 } 3.2.3 }	Нумерація підпунктів другого пункту третього розділу ПЗ

Не дозволено розміщувати назву розділу, підрозділу, а також пункту й підпункту на останньому рядку сторінки.

Сторінки ПЗ нумерують наскрізно арабськими цифрами, охоплюючи додатки. Титульний аркуш входить до загальної нумерації сторінок ПЗ. Номер сторінки на титульному аркуші не проставляють.

4.1 Формули і рівняння

Формули та рівняння подають посередині сторінки симетрично тексту окремим рядком безпосередньо після тексту, у якому їх згадано.

Нумерують лише ті формули та/чи рівняння, на які є посилання в тексті ПЗ чи додатка.

Формули та рівняння у ПЗ, крім формул і рівнянь у додатках, треба нумерувати арабськими цифрами в межах кожного розділу.

Номер формули чи рівняння друкують на їх рівні праворуч у крайньому положенні в круглих дужках, наприклад (3.1). У багаторядкових формулах або рівняннях їхній номер проставляють на рівні останнього рядка.

У кожному додатку номер формули чи рівняння складається з великої літери, що позначає додаток, і порядкового номера формули або рівняння в цьому додатку, відокремлених крапкою, наприклад (А.3).

Приклад оформлення математичної формули:

«Розрахунковий світловий потік однієї лампи ($\Phi_{л.р.}$) обчислюють за формулою:

$$\Phi_{л.р.} = \frac{E_{\min} SKZ}{N_{\eta}}, \quad (2.1)$$

де E_{\min} – мінімальна норма освітленість робочих місць у приміщенні, лк;

S – площа приміщення, м²;

K – коефіцієнт запасу.

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

N – кількість ламп розжарювання у світильниках;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.»

Переносити формули на наступний рядок допускається тільки на знаках операцій, що виконуються, при чому знак на початку наступного рядка повторюють.

При перенесенні формули на знаку множення застосовують знак (x), рівняння (=), плюс (+), мінус (-).

Кілька наведених і не відокремлених текстом формул пишуть одну під одною і розділяють комами.

Наприклад:

$$N_k = \frac{H_p \cdot n}{M_k}, \quad (1.1)$$

$$N_n = \frac{H_p \cdot n}{M_n} - N_k, \quad (1.2)$$

$$N_{TO-3} = \frac{H_p \cdot n}{M_{TO-3}} - (N_k + N_n), \quad (1.3)$$

$$N_{TO-2} = \frac{H_p \cdot n}{M_{TO-2}} - (N_k + N_n + N_{TO-3}), \quad (1.4)$$

$$N_{TO-1} = \frac{H_p \cdot n}{M_{TO-1}} - (N_k + N_n + N_{TO-3} + N_{TO-2}), \quad (1.5)$$

$$N_{CTO} = n \cdot 2 \quad (1.6)$$

де H_p – планове річне навантаження машини даної марки, кг.вит.пал.;(табл. 1.1)

n – кількість машин даної марки, шт.;(табл. 1.1)

$M_k, M_n, M_{TO-3}, M_{TO-2}, M_{TO-1}$, - відповідно міжремонтні норми ремонтів і ТО, кг.вит.пал.

4.2 Ілюстрації

Усі графічні матеріали ПЗ (ескізи, діаграми, графіки, схеми, фотографії, рисунки, кресленики тощо) повинні мати однаковий підпис «Рисунок».

Рисунок подають одразу після тексту, де вперше посилаються на нього, або якнайближче до нього на наступній сторінці, а за потреби – в додатках до ПЗ.

Графічні матеріали ПЗ доцільно виконувати із застосуванням обчислювальної техніки (комп'ютер, сканер, ксерокс тощо та їх поєднання) та подавати на аркушах формату А4 у чорно-білому чи кольоровому зображенні.

Рисунки нумерують арабськими цифрами в межах кожного розділу, крім рисунків у додатках. Номер рисунка складається з номера розділу та порядкового номера рисунка в цьому розділі, які відокремлюють крапкою, наприклад:

«Рисунок 3.2 – Назва рисунка», другий рисунок третього розділу.

Рисунки кожного додатка нумерують окремо. Номер рисунка додатка складається з позначки додатка та порядкового номера рисунка в додатку, відокремлених крапкою. Наприклад:

«Рисунок В.1 – Назва рисунка», тобто перший рисунок додатка В.

Якщо в тексті ПЗ лише один рисунок, його нумерують.

Назва рисунка має відображати його зміст, бути конкретною та стислою.

Пояснювальні дані до рисунка подають безпосередньо після графічного матеріалу перед назвою рисунка.

Назву рисунка друкують з великої літери та розміщують під ним посередині рядка, наприклад:

«Рисунок 2.1 – Схема устаткування».

Рисунок виконують на одній сторінці аркуша. Якщо він не вміщується на одній сторінці, його можна переносити на наступні сторінки. У такому разі назву рисунка зазначають лише на першій сторінці, пояснювальні дані — на тих сторінках, яких вони стосуються, і під ними друкують:

«Рисунок _____, аркуш _____ ».

Кількість ілюстрацій повинна бути достатньою для пояснення тексту, що викладається. На схемах біля кожного елемента вказують його позиційне позначення, встановлене відповідними стандартами, і за необхідності, номінальне значення величини.

4.3 Таблиці

Цифровий матеріал, як правило, оформляють у вигляді таблиці.

Таблицю подають безпосередньо після тексту, у якому її згадано вперше, або на наступній сторінці.

На кожену таблицю має бути посилання в тексті ПЗ із зазначенням її номера.

Таблиці нумерують в межах розділу арабськими цифрами, крім таблиць у додатках. У цьому разі номер таблиці складається з номера розділу та порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою, наприклад, «Таблиця 2.1 – Назва таблиці», перша таблиця другого розділу. Дозволено таблиці нумерувати наскрізно.

Таблиці кожного додатка нумерують окремо. Номер таблиці додатка складається з позначення додатка та порядкового номера таблиці в додатку, відокремлених крапкою. Наприклад,

«Таблиця В.1 – Назва таблиці», тобто перша таблиця додатка В.

Якщо в тексті ПЗ подано лише одну таблицю, її нумерують.

Назва таблиці має відображати її зміст, бути конкретною та стислою.

Назву таблиці друкують з великої літери і розміщують над таблицею з абзацного відступу.



У разі поділу таблиці на частини слово «Таблиця» подають лише один раз над першою частиною таблиці. Над іншими частинами таблиці з абзацного відступу друкують «Продовження таблиці номер таблиці» без повторення її назви.

Заголовки колонок таблиці починають з великої літери, а підзаголовки – з малої літери, якщо вони становлять одне речення із заголовком.

Підзаголовки, які мають самостійне значення, подають з великої літери. У кінці заголовків і підзаголовків таблиць крапки не ставлять.

Приклад оформлення таблиці:

Таблиця 4.2 – Коротка технічна характеристика автомобілів

Показник	Марка автомобіля		
	ГАЗ – 53	КамАЗ – 530	ЛіАЗ - 667
Колісна формула	4×2	6×4	4×2
Вантажопідйомність, кг	4000	8000	-
Особиста маса, кг	3250	6800	7800
Радіус повороту, м	9	8,5	11
Максимальна потужність двигуна, к.с.(кВт)	115 (84,5)	210 (154,5)	180 (132,3)
Габаритні розміри, мм			
1) висота	2200	3375	2990
2) ширина	2380	2500	2500
3) довжина	6395	7400	10450

4.4 Посилання

Посилання в тексті роботи на джерела зазначають порядковим номером за переліком посилань, виділених квадратними дужками.

При посиланні на розділи, додатки, таблиці тощо зазначають їх номери.

4.5 Виноски

Пояснення до окремих даних допускається оформляти виносками, які позначають нарядковими знаками у вигляді арабських цифр з дужкою.

Нумерація виносок окрема для кожної сторінки і її виконують безпосередньо після того слова, символу чи тексту, який треба пояснити.

Текст виноски вміщують під таблицею або в кінці сторінки і відокремлюють від таблиці або тексту лінією довжиною 30...40 мм, проведеною в лівій частині сторінки.

Текст починають з абзацного відступу і друкують через один інтервал.

Наприклад:

Цитата в тесті: „В індукційних тигельних печах рідкий метал, який нагрівається до високих температур (1500...1800°С) справляє на футеровку термічну, корозійну і ерозійну дію“¹⁾

¹⁾ О.П.Макаревич, Г.Є.Федоров, Є.О.Платонов. Виробництво виливків із спеціальних сталей. –К.: Видавництво НТУУ „КПІ“, 2005. 712 с.

4.6 Додатки

Додатки оформляють, як продовження до тексту ПЗ.

У тексті записки на всі додатки повинні бути посилання.

Розміщують додатки в порядку посилань на них у тексті. Додатки можуть бути: графічний матеріал; таблиці, що доповнюють основний текст; формули і розрахунки; оригінали фотографій; опис апаратури і приладів, що використовувались під час вимірів та випробувань; опис комп’ютерних програм, розроблених у процесі виконання роботи.

Кожен додаток повинен починатися з нової сторінки. Додаток повинен мати заголовок, надрукований або написаний з першої великої літери, а послідувачі малими, симетрично відносно тексту сторінки.

По середині рядка над заголовком малими літерами з першої великої повинно бути надруковано слово «Додаток» і велика літера, що позначає додаток.

Додатки позначають послідовно великими літерами української абетки, крім літер Г, Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ъ, наприклад, «Додаток А», «Додаток Б».

Дозволено позначати додатки літерами латинської абетки, крім літер І та О.

У разі повного використання літер української і/або латинської абеток дозволено позначати додатки арабськими цифрами.

Один додаток позначають як «Додаток А».

За потреби текст додатків можна поділити на розділи, пункти й підпункти, які треба нумерувати в межах кожного додатка відповідно до вимог.

Рисунки, таблиці, формули та рівняння в тексті додатків треба нумерувати в межах кожного додатка, починаючи з літери, що позначає додаток, наприклад, рисунок Г.3 – третій рисунок додатка Г; таблиця А.2 – друга таблиця додатка А; формула (А.1) – перша формула додатка А.

Якщо в додатку один рисунок, одна таблиця, одна формула чи одне рівняння, їх нумерують, наприклад, рисунок А.1, таблиця Г.1, формула (В.1).

5 Графічна частина роботи

Графічна частина роботи включає в себе розробку функціональної схеми автоматизації (ФСА). ФСА виконують згідно з діючими держстандартами на умовне зображення технологічного обладнання *безмасштабно*.

Функціональна схема автоматизації є основним технічним документом, що визначає функціональну структуру й обсяг автоматизації технологічних установок та окремих агрегатів промислового об'єкта. Функціональна схема представляє собою кресленик, на якому схематично умовними позначеннями зображені: технологічне устаткування, комунікації, органи керування і засоби автоматизації (прилади, регулятори, обчислювальні пристрої, елементи телемеханіки тощо) з вказанням зв'язків між технологічним устаткуванням і елементами автоматики, а також зв'язків між окремими елементами автоматики. Допоміжні пристрої, такі як редуктори і фільтри для повітря, джерела живлення, реле, автомати, вимикачі і запобіжники в колах живлення, з'єднуючі коробки та інші пристрої й монтажні елементи, на функціональних схемах автоматизації не показуються.

Функціональну схему автоматизації технологічної установки виконують, як правило, на тому ж аркуші, на якому зображують апаратуру всіх систем контролю, регулювання, сигналізації і блокування, які відносяться до даної технологічної установки.

Щоб розробити функціональну схему автоматизації, необхідно знати принципи побудови систем автоматичного контролю і керування й умовні позначення технологічного устаткування, трубопроводів, приладів і засобів автоматизації, функціональних зв'язків між окремими приладами і засобами автоматизації та мати уявлення про характер технологічного процесу і взаємодію окремих установок і агрегатів технологічного устаткування.

Технологічне устаткування і комунікації на функціональних схемах автоматизації зображують, як правило, спрощено у скороченому вигляді, без показу окремих технологічних апаратів і трубопроводів допоміжного призначення. Зображена таким способом технологічна схема дає повне представлення про принцип її роботи і взаємодії з засобами автоматизації.

В окремих випадках деякі елементи технологічного устаткування зображують на функціональних схемах у виді прямокутників з вказанням їх найменування або не показують узагалі. При цьому біля датчиків, відбірних, прийомних та інших подібних за призначенням пристроїв указують найменування того технологічного устаткування, до якого вони відносяться.

ФСА можуть бути виконані двома способами:

1-й спосіб, *розгорнутий*, у якому на схемі зображують склад і місце розташування технічних засобів автоматизації кожного контуру контролю та керування, із зображенням щитів і пультів керування за допомогою умовних прямокутників (як правило, в нижній частині кресленника), у межах яких показуються встановлювані на них засоби автоматизації;

2-й спосіб, *спрощений*, у якому на схемі зображують основні функції контурів контролю та керування (без виділення окремих технічних засобів автоматизації, що до них входять, та зазначення місця їх розташування), із зображенням засобів автоматизації на технологічних схемах поблизу відбірних і прийомних пристроїв без побудови прямокутників, що умовно зображує щити, пульти, пункти контролю та керування.

У курсовій роботі необхідно розробити функціональну схему автоматизації за 2-м способом, *спрощеним*. Для спрощеного способу побудови достатньо основних умовних позначень, наведених в табл. 5.1, та літерних позначень, наведених в табл. 5.2.

Спрощений спосіб побудови схем (рис. 5.1), хоч і дає лише загальне уявлення про прийняті рішення щодо автоматизації об'єкта, дозволяє суттєво скоротити обсяги проектної (робочої) документації. Однак читання схем автоматизації, виконаних у такий спосіб, ускладнено тим, що вони не повно відображають організацію пунктів контролю і керування об'єктом, а складання специфікації на використані засоби автоматизації за такою схемою взагалі неможливе.

Регульовальні пристрої зображено на схемі технологічного процесу поблизу відбірних пристроїв та датчиків і позначено відповідними арабськими цифрами, проставленими в нижній частині кола, що зображує регульовальний пристрій. Виконавчі механізми та відбірні пристрої позиційних позначень не мають.

Іноді застосовують і комбінований метод зображення, який передбачає показ засобів автоматизації здебільшого розгорнено, однак деякі вузли зображаються спрощено.

Прилади та засоби автоматизації, вбудовані в технологічне обладнання та комунікації чи механічно пов'язані з ним, зображають на кресленнику в безпосередній близькості від них (виконавчі механізми, регульовальні та запірні органи).

Для приладів, вбудованих безпосередньо в технологічне обладнання чи трубопроводи (термометрів розширення, манометрів, витратомірів постійного перепаду тощо) та розміщених поза згаданими

прямокутниками, граничнодопустимі значення параметрів вказують під позиційним позначенням приладів чи поблизу позначень.

Над рамкою з основним написом по її ширині (так зване вільне поле схеми) зверху вниз на аркуші кресленника подають таблицю не передбачених стандартами умовних позначень, прийнятих в цій схемі автоматизації; там же розмішують експлікацію на технологічне устаткування (номер позиції, назву, кількість однотипних одиниць) і позначення (нумерацію) трубопроводів. У разі потреби таблиці можна виконувати на окремих аркушах.

На кресленнях схем автоматизації мають бути наведені пояснення, на підставі яких документів їх розроблено. Допускається на вільному полі схеми подавати стислу технічну характеристику об'єкта, що автоматизується, пояснювальні таблиці, діаграми тощо. Пояснювальний текст можна розміщувати і в будь-якому іншому вільному місці схеми.

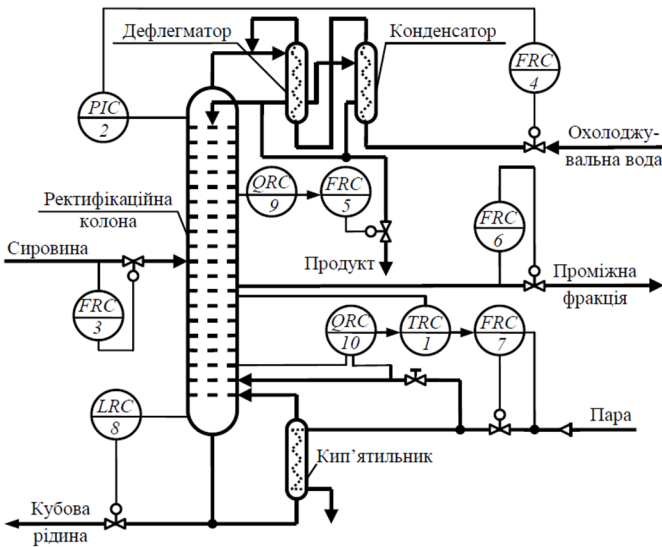


Рисунок 5.1 – Приклад виконання схеми автоматизації спрощеним способом

5.1 Позиційні позначення приладів і засобів автоматизації

На стадії роботи позиційні позначення виконуються арабськими цифрами відповідно до нумерації в заявочній відомості приладів засобів автоматизації й електроапаратури. Літерні позначення привласнюються кожному елементу функціональної групи в порядку алфавіту в залежності від послідовності проходження сигналу – від пристроїв одержання інформації до пристроїв впливу на керований процес (наприклад, прийомний пристрій-датчик, вторинний перетворювач, датчик, регулятор, показчик положення, виконавчий механізм, регулюючий орган).

Позиційні позначення окремих приладів і засобів автоматизації, таких як регулятори прямої дії, манометри, термометри тощо, складаються тільки з порядкових номерів.

Показана на функціональних схемах автоматизації електроапаратура на стадії виконання роботи позначається індексами, прийнятими в принципових електричних схемах.


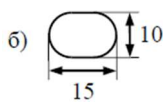

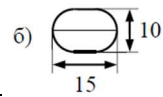
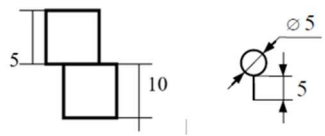


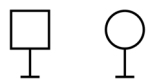
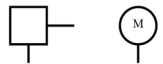
У системах централізованого контролю із застосуванням обчислювальної техніки, у схемах телевимірювання, а також у складних схемах автоматичного керування з загальними для різних функціональних груп пристроями всі загальні елементи виносяться в самостійні функціональні групи.

Позиційні позначення в функціональних схемах автоматизації проставляються в нижній частині кола, яким позначається прилад.

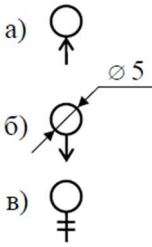
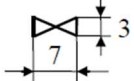
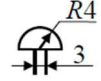
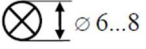
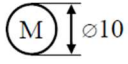
5.2 Графічне зображення засобів вимірювання та автоматизації

Прилади, засоби автоматизації, електричні пристрої та елементи обчислювальної техніки на схемах автоматизації зображують відповідно до Міждержавного стандарту ГОСТ 21.408–93, ДСТУ Б А.2.4-3–95 та галузевих нормативних документів. За відсутності в стандартах необхідних зображень дозволяється застосовувати нестандартні зображення, які слід виконувати на основі характерних ознак зображуваних пристроїв. Названі стандарти визначають систему побудови графічних (табл. 5.1) та літерних (табл. 5.2–5.5) умовних позначень за функціональними ознаками приладів. Складні прилади, які виконують декілька функцій, можна зображувати декількома дотичними колами.

Таблиця 5.1 – Розміри графічних умовних позначень приладів, засобів автоматизації та електроапаратури

Назва	Позначення
1	2
<p>Первинний вимірювальний перетворювач (датчик): засіб вимірювання, що встановлюється поза щитом (місцевого розміщення) на технологічному трубопроводі, апараті, стіні, підлозі, колоні, металоконструкції:</p> <p>а) базове позначення; б) допустиме позначення</p>	<p>а) </p> <p>б) </p>
<p>Прилад, установлений на щиті, пульті:</p> <p>а) базове позначення; б) допустиме позначення</p>	<p>а) </p> <p>б) </p>
<p>Виконавчий механізм. Загальне позначення. Положення регульовального органа у разі припинення подачі енергії чи керувального сигналу не показується</p>	
<p>Виконавчий механізм, який відкриває регульовальний орган у разі вимкнення енергії або сигналу з приладу</p>	
<p>Виконавчий механізм, який закриває регульовальний орган</p>	
<p>Виконавчий механізм, який при знятті напруги деталей залишає регульовальний орган без змін</p>	
<p>Виконавчий механізм із додатковим ручним приводом</p>	

Продовження табл. 5.1

1	2
<p>Виконавчий механізм, який у разі припинення подачі енергії чи керувального сигналу:</p> <p>а) відкриває регулювальний орган;</p> <p>б) закриває регулювальний орган;</p> <p>в) не змінює стану регулювального органа</p>	
Регулювальний орган	
Дзвінок електричний	
Лампа розжарення (освітлювальна та сигнальна)	
Машина електрична (М – двигун, Г – генератор)	

Для отримання повного умовного позначення приладу його графічне умовне позначення у вигляді кола або овалу вписують літери, які визначають позначення, функції та характеристики роботи приладу.

Таблиця 5.2 – Літерні умовні позначення

Позначення	Головні значення 1-ї літери, яке визначає змінну величину
D	щільність
E	будь-яка електрична величина
F	витрата
G	розмір, положення, переміщення
H	ручний вплив
K	час, часова програма
L	рівень
M	вологість
P	тиск

Позначення	Головні значення 1-ї літери, яке визначає змінну величину
Q	величина, що характеризує кількість, склад, концентрацію
R	радіоактивність
S	швидкість, частота
T	температура
U	декілька різнорідних вимірюваних величин
V	в'язкість
W	вага, маса

Букви A, B, C, I, N, Y, Z – резервні.

Таблиця 5.3 – Умовні позначення функцій, які виконує прилад (друга або наступні літери)

Позначення	Відображувані функції
A	сигналізація
I	показання
R	реєстрація (запис на діаграмі)
C	регулювання
S	вимкнення (увімкн./перемкнен.)
M	верхня допустима межа величини, що вимірюється
L	нижня границя величини, що вимірюється

Букви E, G, V – резервні для позначення функцій.

Букви K, O, T, Y, Z – для позначення формування вихідного сигналу.

Таблиця 5.4 – Літерні позначення, які уточнюють вимірювані параметри

Позначення	Значення букви
D(d)	різниця, перепад
F(f)	співвідношення, частка, дріб
I	автоматичне перемикання
Q(q)	інтегрування, підсумовування в часі

Таблиця 5.5 – Додаткові літерні позначення характеристик роботи приладу

Позначення	Характеристика
	<u>Енергія сигналу</u>
E.....	електрична енергія
P.....	пневматична енергія
G.....	гідрравлічна енергія
	<u>Операція, яка виконується обчислювальним приладом (пристроєм)</u>
Σ	додавання сигналу
K.....	множення сигналу на який-небудь коефіцієнт (стала)
x.....	знак множення (перемноження двох або більше сигналів один на одного)
:	ділення сигналів один на одного
f^n	піднесення сигналу до n-го степеня
$\sqrt[n]{}$	добування з сигналу кореня n-го степеня
lg.....	логарифмування
$\frac{dx}{dt}$	диференціювання
\int	інтегрування
x(-1).....	зміна знака сигналу
max.....	обмеження верхнього значення сигналу
min.....	обмеження нижнього значення сигналу
	<u>Зв'язок з обчислювальним комплексом</u>
V _i	передача сигналу на ЕОМ
V _o	виведення інформації з ЕОМ

Необхідно відзначити особливості окремих буквених позначень. Сигналізацію позначають літерою А, це позначення використовують незалежно від того, чи винесено сигнальну апаратуру на щит, чи її вмонтовано в прилад. Граничні значення вимірюваних величин конкретизують буквами Н і L (верхня і нижня межі). Контактний пристрій, який виконує комутаційні операції (увімкнення, вимкнення, перемикання, блокування) позначають буквою S.

Методика побудови графічних умовних позначень для спрощеного і розгорнутого способів є спільною (рисунок 5.2). У верхню

частину кола вписують літерні позначення вимірюваної величини та функціональної ознаки приладу. В нижню частину кола вписують позиційне позначення (цифрове чи літерно-цифрове), що служить для нумерації контуру контролю чи регулювання.

Послідовність розміщення літерних позначень у верхній частині (зліва направо) має бути таким: позначення основної вимірюваної величини; позначення, що уточнює (у разі потреби) основну вимірювану величину; позначення функціональних ознак приладу. Функціональні ознаки (якщо їх декілька в одному засобі автоматизації) розміщують у послідовності, показаній на рисунку 5.2.

Створюючи умовні позначення приладів, слід вказувати не всі функціональні ознаки приладу, а лише використовувані в схемі. Так, позначаючи показувальні та самописні прилади (якщо функція «показання», тобто індикації, поточного значення вимірюваної величини не використовується), слід писати *TR* замість *TIR*, *PR* замість *PIR* і т. ін.

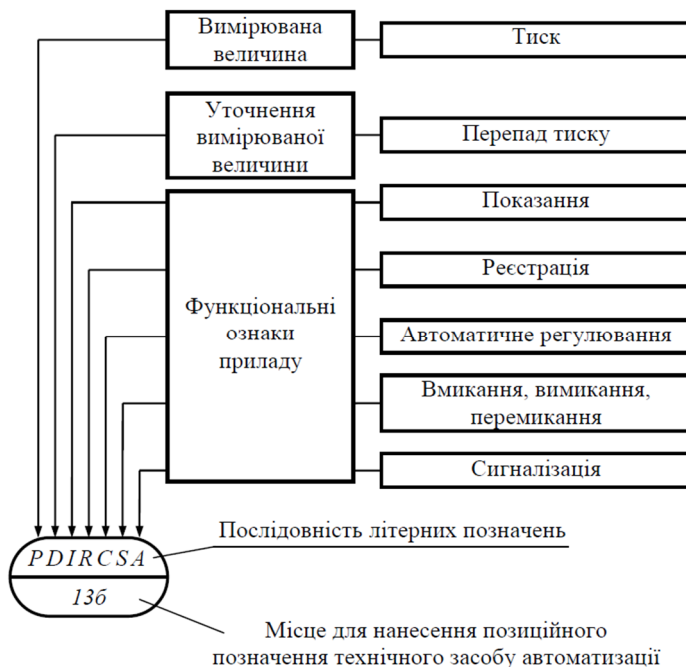







Рисунок 5.2 – Приклад побудови умовного позначення технічного засобу автоматизації

В обґрунтованих випадках (наприклад, у позиційних позначеннях, що складаються з великої кількості знаків) для позначення первинних перетворювачів і приладів замість кола можна застосовувати позначення у вигляді еліпса.

Приклади побудови умовних позначень відповідно до ГОСТ 21.408–93 і ДСТУ Б А.2.4-3–95 наведено в табл. 5.6.






Таблиця 5.6 – Приклади побудови умовних позначень приладів і засобів автоматизації

№ пп	Назва	Позначення
1	Первинний вимірювальний перетворювач (чутливий елемент) для вимірювання температури місцевий (перетворювач термоелектричний або термоперетворювач опору, термобалон манометричного термометра, датчик пірометра тощо)	
2	Прилад для вимірювання температури показувальний місцевий (наприклад, термометр розширення)	
3	Прилад для вимірювання температури показувальний, встановлений на щиті (мілівольтметр, логометр, потенціометр, міст автоматичний тощо)	
4	Прилад місцевий для вимірювання температури безшкальний, з дистанційним передаванням показань (термометр манометричний безшкальний з пневмо- чи електропередачею сигналу)	
5	Прилад для вимірювання температури одноточковий реєструвальний (самописний), установлений на щиті (логометр, потенціометр, міст автоматичний і т. ін.)	






Продовження табл. 5.6

№ пп	Назва	Позначення
6	Регулятор температури безшкальний місцевий (наприклад, дилатометричний регулятор температури)	
7	Комплект для вимірювання температури самописний регулювальний, оснащений станцією керування, установлений на щиті	
8	Прилад для вимірювання температури, безшкальний, з контактним пристроєм, місцевий (наприклад, термореле)	
9	Панель дистанційного ручного керування (електрична чи пневматична), установлена на щиті	
10	Перемикач електричних каналів вимірювання (керування) або перемикач для газових чи повітряних ліній, установлений на щиті	
11	Прилад для вимірювання тиску (розрідження) показувальний місцевий (будь-який показувальний манометр, дифманометр, тягомір, напоромір, вакуумметр тощо)	
12	Прилад для вимірювання перепаду тиску показувальний місцевий (наприклад, дифманометр показувальний)	
13	Прилад для вимірювання тиску (розрідження) безшкальний з дистанційним передаванням показань місцевий (наприклад, манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередачею сигналу)	

Продовження табл. 5.6

№ пп	Назва	Позначення
14	Первинний вимірювальний перетворювач (чутливий елемент) для вимірювання витрати місцевий (діафрагма, сопло, датчик індукційного витратоміра тощо)	
15	Регулятор співвідношення витрат, установлений на щиті	
16	Прилад для вимірювання витрати показувальний місцевий (наприклад, дифманометр чи ротаметр показувальні)	
17	Прилад для вимірювання витрати показувальний інтегровальний місцевий (наприклад, будь-який лічильник-витратомір з інтегратором або показувальний дифманометр-витратомір із вмонтованим інтегратором)	
18	Первинний вимірювальний перетворювач (чутливий елемент) для вимірювання рівня місцевий (наприклад, первинний вимірювальний перетворювач електричного чи акустичного рівнемірів)	
19	Прилад для вимірювання рівня показувальний місцевий (наприклад, дифманометр для вимірювання рівня)	
20	Прилад для вимірювання густини розчину безшкальний із дистанційним передаванням показань місцевий (наприклад, датчик густиноміра з пневмо-чи електропередачею)	

Закінчення табл. 5.6

№ пп	Назва	Позначення
21	Прилад для вимірювання розмірів показувальний місцевий (наприклад, показувальний прилад для вимірювання товщини сталеної стрічки)	
22	Прилад для вимірювання будь-якої електричної величини показувальний місцевий (написи, що розшифровують конкретно вимірювану величину, розташовуються або поруч з приладом, або у вигляді таблиці на полі креслення)	
23	Прилад для вимірювання вологості реєструвальний, установлений на щиті (наприклад, вторинний прилад вологоміра самописного)	
24	Прилад для вимірювання в'язкості показувальний місцевий (наприклад, віскозиметр показувальний)	
25	Апаратура, призначена для ручного дистанційного керування, установлена на щиті (пневматична чи електрична панель керування)	

У загальному випадку при проектуванні автоматизованих виробничих систем у графічній частині роботи також можуть бути представлені:

- принципів: електрична, кінематична, пневматична або гідравлічна схема об'єкта керування;

- результати аналізу систем логіко-програмного управління, блок-схеми, граф функціонування, структурна схема регулятора, тощо

Графічна частина курсової роботи має давати повне уявлення про об'єкт проектування, достатнє для подальшої розробки робочої документації.

6 Основні теоретичні відомості

6.1 Технологічний об'єкт керування

У загальному випадку термін «*об'єкт керування*» означає систему (технічну, біологічну, соціальну), в якій протікає керований процес. Як матеріально відчутні, в якості об'єктів керування можуть виступати: деталь, верстат, паровий котел, двигун, автоматична лінія, прокатний стан, доменна піч, корабель, бурова установка, залізнична сортувальна гірка, виробнича ділянка, службовець тощо.

Під *керуванням* розуміють процес організації такого цілеспрямованого впливу на об'єкт керування, у результаті якого останній переходить у необхідний стан. Для реалізації цього процесу використовують різноманітні пристрої керування.

Пристроєм керування називається пристрій, який забезпечує формування керувального впливу на об'єкт керування (ОК), що відповідає алгоритму його роботи. Пристрій, який виконує ці функції без участі людини, називається *автоматичним пристроєм керування*.

Сукупність ОК і пристрою керування, взаємодія яких забезпечує виконання поставленого завдання, називають *системою автоматичного керування* (САК). До складу такої системи входить окрім ОК й пристрою керування, задавальний пристрій, що формує необхідний закон зміни початкового стану ОК.

Поняття «*керування*» включає поняття «*регулювання*». Регулювання полягає в досягненні такої діяльності системи, при якій усуваються всі відхилення параметрів стану системи на її виході від заданих значень. Необхідні значення параметрів, що визначають бажаний хід технологічного процесу в тому або іншому об'єкті без участі людини, забезпечує система автоматичного регулювання.

Об'єктом керування називається апарат (сукупність апаратів) або машина, яка характеризується вхідними, вихідними та збурюючими параметрами. Об'єкт керування можна описати математично за допомогою передавальної функції.

Передавальна функція $W(S)$ – це відношення вихідної координати до вхідної, перетворених по Лапласу при нульових початкових умовах:

$$W(S) = \frac{Y(S)}{U(S)},$$

де $Y(S)$, $U(S)$ – вихідна та вхідна координати об'єкта керування відповідно.

Кожний об'єкт керування має статичну та динамічні характеристики.

Статична характеристика – це залежність вихідної координати (Y) від вхідної (U) у сталому режимі.

Динамічні характеристики за принципом їх визначення розділяються на перехідну та частотні. Останні розділяються на амплітудно-частотну, фазочастотну, дійсну та уявну частотні характеристики.

Перехідна характеристика – це залежність вихідної координати (Y) від часу (t). Перехідну характеристику ще називають кривою перехідного процесу. Її використовують для визначення показників якості роботи об'єкта керування.

6.2 Структурна схема хіміко-технологічного процесу (ХТП)

Характерною рисою хімічних технологій є зміни, які виконуються в результаті дії багатьох факторів, а саме: форми, складу, фізичних і хімічних властивостей речовин тощо.

У хімічній промисловості реалізована велика кількість технологічних процесів. Загальним для них є наявність основних стадій: підготовка сировини, хімічне перетворення, виділення цільового та побічних продуктів, знешкодження відходів (див. рисунок 6.1). Кожна стадія може включати цілу низку операцій.

Стадія підготовки сировини може мати наступні операції:

- фільтрування;
- очищення;
- підігрівання;
- змішування;
- компримування газів.

Стадія хімічного перетворення може проходити в таких формах:

- газозфазних;
- рідиннофазних;
- твердофазних;
- гомогенній;
- гетерогенній.

Стадія виділення продуктів може проходити за рахунок:

- масообміну;
- теплообміну;
- вакуумування;

- компресування;
- дроселювання.

Стадія очищення відходів може здійснюватися за рахунок:

- фільтрування;
- відстоювання;
- біохімічного очищення;
- спалювання;
- флотації;
- масообміну;
- перероблення.

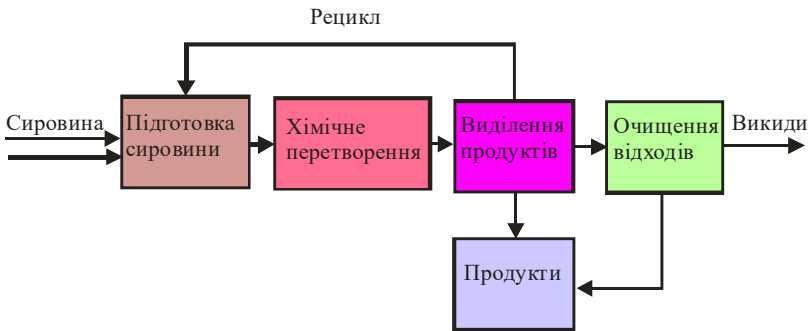


Рисунок 6.1 – Структурна схема хіміко-технологічного процесу

Технологічні операції розділяються на *неперервні* (наприклад, підігрівання, змішування, газофазні, рідиннофазні, масообміну, теплообміну, спалювання), *періодичні* (наприклад, фільтрування, очищення, твердофазні, рідиннофазні, перероблення), а також *напівперіодичної* дії. Більшість технологічних операцій здійснюється з рециркуляцією сировинних потоків.

Рециркуляція це – операція, коли невідпрацьовані матеріальні потоки знову повертаються на вхід хімічної стадії. Послідовність операцій на кожній стадії має логічне, технологічне та економічне обґрунтування. Рациональний вибір послідовності операцій є доволі складним, так як хімічна система багато інваріантна як за операціями, так і за іншими параметрами, які у свою чергу можуть залежати від послідовності операцій.

6.3 Основи аналізу ХТП як об'єкта керування

Хіміко-технологічні процеси повинні бути керованими, тобто являти собою технологічні об'єкти керування, які характеризуються регулюючими X_i (вхідними), регульованими Y_i (вихідними) і збурюючими Z_k координатами, де i, j, k – відповідно кількість вхідних, вихідних і збурюючих координат (рисунок 6.2).

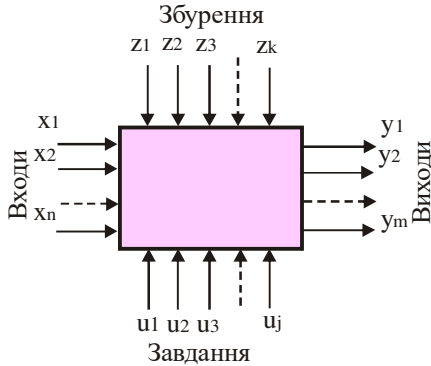


Рисунок 6.2 – Структурна схема системи керування хімічного об'єкта

Між вихідними, вхідними та збурюючими координатами існують відповідні функціональні зв'язки.

Вихідними називаються параметри, котрі визначають якість або оптимальний режим роботи технологічного процесу і з допомогою яких прямо чи опосередковано оцінюють ефективність керування. До них, як правило, відносяться: температура, тиск, рівень і концентрація речовин.

Вхідними прийнято називати такі технологічні параметри, з допомогою яких можна тим чи іншим шляхом впливати на вихідні з метою їх стабілізації або зміни за відповідним алгоритмом. До таких параметрів відносяться витрати матеріальних чи теплових потоків.

Збурюючими називають параметри, які впливають на вихідні, але не можуть використовуватися для керування технологічним процесом. Для того, щоби хімічна система працювала в заданому напрямку, використовуються керуючі дії U , які також виражаються кількісно.

6.4 Побудова інформаційно-логічних схем технологічних об'єктів керування

Керування передбачає наявність технологічного об'єкта або групи об'єктів та керуючого органу, який діє на об'єкт, змінюючи його стан у потрібному напрямку

Основним інструментом для вирішення проблем керування хімічним виробництвом служать автоматизовані системи управління та керування. Вони призначені для автоматизованого збору та обробки інформації, необхідної для оптимізації управління в різних сферах виробництва.

У зв'язку з цим автоматизовані системи розділяються на два типи: автоматизовані системи управління підприємством (АСУП) та автоматизовані системи керування технологічними процесами (АСК ТП).

АСУП – система, що ґрунтується на використанні автоматичних засобів збирання, передавання, обробки та зберігання інформації, а також організаційно-економічних та математичних методів для регулярного розв'язування основних задач управління виробничо-господарською діяльністю підприємства. АСУП призначена для управління підприємством як автономно, так і в складі АСУ виробничим об'єднанням або галузевої автоматизованої системи управління.

АСК ТП – це людино-машинна система, що забезпечує автоматизований збір інформації з первинних (ПП) або передавальних перетворювачів (ПрП) сигналів і її первинну обробку.

Щоб одержати уявлення про особливості й характер функціонування сучасних АСК ТП, розглянемо їх спрощену загальну структурну схему (рисунок 6.3).

У розглянутій структурній схемі АСК ТП важливу роль відіграє людина як елемент цієї системи. Участь людини і та роль, яка їй відведена в процесі керування об'єктом, характеризує організацію цього процесу. В свою чергу співвідношення дій, яку виконують людина і автоматичне обладнання, обумовлює апаратний склад системи керування. Найкращий варіант розподілу всієї сукупності дій між людиною і автоматичним обладнанням заздалегідь невідомий: він залежить від конкретних умов на об'єкті керування, якості автоматичного обладнання, рівня технічної підготовки операторів-технологів, які беруть участь в керуванні процесом. Звичайно ця проблема виникає ще при проектуванні АСК ТП і її ставлять як задачу оптимального розподілу функцій між людьми та технікою.

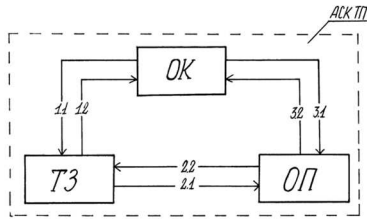


Рисунок 6.3 – Потіки інформації, сигнали в автоматичному режимі: 1.1 - з первинних та передавальних перетворювачів про стан об'єкта керування, 1.2 - керуючі впливи на об'єкт керування; сигнали в діалоговому режимі: 2.1 - уточнення значення деяких параметрів, 2.2 - корекція при потребі параметрів настройки відповідних регуляторів; сигнали в ручному режимі: 3.1 - деякі дані аналітичного контролю, 3.2 - дистанційне керування окремими параметрами

Прикладом системи є будь-який регульований технологічний процес, який підлягає керуванню. На рисунку 6.4 показана АСК теплообмінником змішування.

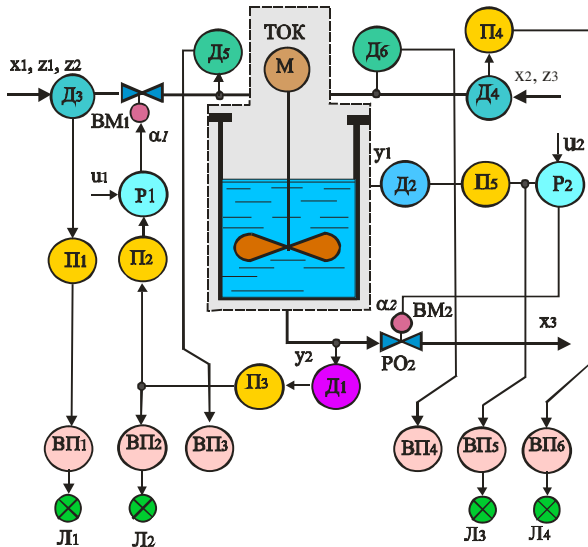


Рисунок 6.4 – Схема регульованого технологічного процесу як системи керування

Протікання процесу контролюється датчиками $D_1 \dots D_6$. Вироблювані сигнали датчиків D_1 і D_2 , котрі пропорційні регульованим вихідним координатам u_1 та u_2 , за допомогою вимірювальних перетворювачів Π_1 , Π_2 і Π_5 перетворюються на відповідні уніфіковані сигнали і надходять на регулятори P_1 і P_2 , на які одночасно подаються керуючі сигнали u_1 та u_2 . Регулятори формують відповідний закон регулювання та видають сигнали α_1 та α_2 на виконавчі механізми $ВМ_1$ та $ВМ_2$, котрі встановлені на відповідних лініях матеріальних потоків x_1 та x_3 (вхідні координати системи). На систему діють збурення z_1 , z_2 , z_3 . Причому z_1 – температура матеріального потоку x_1 ; z_2 – витрата потоку; z_3 температура матеріального потоку x_2 .

Автоматичному контролю підлягають наступні технологічні параметри: температура на виході теплообмінника (вимірюється датчиком D_1), рівень рідини в апараті (вимірюється датчиком D_2), витрати матеріальних потоків (вимірюються датчиками D_3 і D_4), а також температури цих потоків (вимірюються датчиками D_5 і D_6).

Сигналізації (лампи $L_1 \dots L_4$) підлягають витрати матеріальних потоків, температура потоку на виході (за максимумом) і рівень рідини в апараті (за максимумом і мінімумом).

Перед кожною системою керування ставиться мета, якої вона повинна досягти. Перелік обов'язків, які виконує АСК для досягнення мети керування, називається *алгоритмом функціонування*. У даному прикладі мета керування – підтримати керуючими впливами u_1 та u_2 на заданому рівні стабільні вихідні координати u_1 та u_2 . Алгоритм функціонування системи можна подати у вигляді *описової, математичної або графічної* форми. Описовою формою алгоритму є *технологічний регламент*. Математична форма алгоритму функціонування – це опис АСК у вигляді алгебраїчних чи диференціальних рівнянь, які встановлюють зв'язки між вихідними, вхідними та збурюючими параметрами. Графічна форма показує порядок передавання сигналів в АСК у вигляді відповідного алгоритму, як показано на рисунку 6.5.

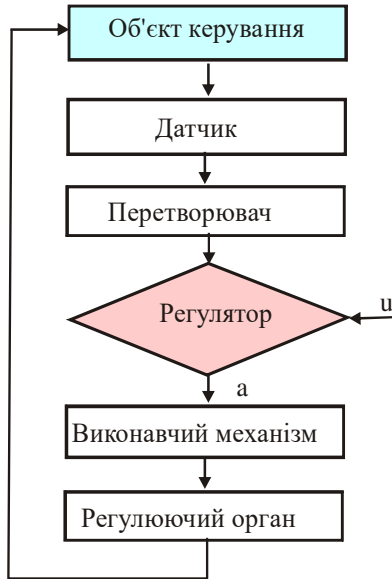


Рисунок 6.5 – Алгоритм функціонування АСК

6.5 Місце АСР у системах АСК ТП

В управлінні технологічними процесами широко застосовуються автоматичні системи регулювання (АСР). Призначення АСР полягає в підтримванні заданих значень фізичних параметрів, які характеризують перебіг технологічного процесу. АСР являє собою сукупність об'єкта й технічних засобів автоматизації, основним з яких є автоматичний регулятор. Параметр, який під час процесу слід підтримувати на заданому рівні, зветься *регульованою змінною*. Це може бути температура продукту в апараті, рівень рідини, тиск пари в пароводяній оболонці котла тощо. Під час роботи на об'єкт впливає багато зовнішніх чинників – збурень, які призводять до небажаних змін об'єкта (наприклад: зміна навантаження апарата, коливання напруги в мережі, зміна температури навколишнього середовища).

Автоматичний регулятор забезпечує задане значення регульованої змінної та виробляє сигнал управляючої дії, який впливає на об'єкт для знешкодження дії збурень. Якщо дійсне значення регульованої змінної не дорівнює заданому, то їх різниця становить помилку регулювання.

6.6 Алгоритм побудови АСК

Великі системи являють собою сукупність малих АСК. Великі системи містять велику кількість взаємопов'язаних підсистем, між якими існує відповідна підпорядкованість, що має вигляд ієрархічної структури з трьома основними ступенями.

Перший (найнижчий) ступінь ієрархічної структури створюють типові технологічні процеси (механічні, гідродинамічні, теплові, масообмінні та хімічні) в окремому апаратурному оформленні та локальні системи автоматичного керування.

Основу другого ступеня ієрархії становлять агрегати, комплекси, АСК технологічними процесами (АСК ТП) та інші.

Третій (найвищий) ступінь ієрархічної структури становлять системи оперативного керування підприємством або сукупністю його підрозділів. Мета третього ступеня – організувати виробництво, планування та реалізацію виробленої продукції. Такі системи називаються автоматизованими системами управління підприємством (АСУП).

6.7 Структура автоматичної системи регулювання (АСР)

Розробка АСК починається з вивчення фізичних або фізико-хімічних процесів об'єкта керування, опису його в аналітичній формі за допомогою диференціальних, інтегро-диференціальних або інших рівнянь. Математичні моделі об'єктів складають на основі їх структурно-логічних схем та аналізу технологічного процесу як об'єкта керування. На основі аналізу технологічного процесу як об'єкта керування розробляється структурна схема АСР, яка має враховувати принцип регулювання, вимоги до точності та надійності, а також комплексу технічних засобів: датчиків, нормуючих і проміжних перетворювачів, підсилювачів, регуляторів, виконавчих механізмів, регулюючих органів тощо.

Якщо структура АСР визначена повністю, а параметри всіх її ланок відомі, то необхідно знайти математичну модель такої системи і перейти до розв'язання задачі аналізу. Коли структура системи визначена не повністю або невідомі параметри її основних ланок, то необхідно розв'язувати задачі синтезу АСР (див. рисунок 6.6).

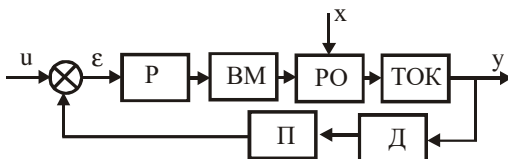


Рисунок 6.6 - Структурна схема автоматичної системи регулювання:
 P – регулятор; ВМ – виконавчий механізм; РО – регулюючий орган;
 ТОК – технологічний об’єкт керування; Д – датчик;
 П – перетворювач сигналу; u – завдання; x – вхідна координата;
 y – вихідна координата; ε - сигнал неузгодженості

6.8 Класифікація принципів автоматичного керування

Для автоматизації технологічних процесів хімічних виробництв у залежності від вимог, які висуваються до якості та точності автоматичного керування, використовуються як автоматичні, так і автоматизовані системи керування.

Автоматичні системи керування використовуються, як правило, для стабілізації технологічних параметрів окремих технологічних апаратів: для ресиверів і газгольдерів – тиску; для апаратів з рідиною – рівня; для теплообмінників - температури; для реакторів - концентрації тощо. Як правило, стабілізація того чи іншого технологічного параметра здійснюється за рахунок зміни кількості теплового чи матеріального потоку, яка поступає в апарат. Зміна самого теплового чи матеріального потоку є сильним збуренням, яке чинить вплив на величину вихідних координат об’єкта керування.

Окрім того на технологічний процес, який виконується а апараті, впливають інші впливові фактори, як температура, тиск, концентрації, фізико-хімічні параметри перероблюваних речовин тощо. Технологічний процес, який реалізований в одному апараті, може характеризуватися одним або декількома вхідними і вихідними координатами.

Автоматичні системи керування можуть бути *простими* і *складними*.

Простими називатимемо АСК, які мають замкнений чи розімкнений контур проходження однієї керуючої дії. АСК, які мають два і більше контурів проходження різних за характером керуючих дій, називатимемо *складними*.

Найпростішою автоматичною системою керування є одноконтурна, яка має один замкнений або розімкнений контур.

6.8.1 Принцип керування за відхиленням

АСК, які мають один замкнений контур з від'ємним зворотним зв'язком, називаються системами керування за відхиленням. Вони призначені для відтворення величини керованої координати у відповідності зі значенням, яке задається оператором або відповідною програмою з допомогою пристрою задання чи програматора. На рисунках 6.7 та 6.8 наведено функціональну та структурну схему АСК за відхиленням відповідно.

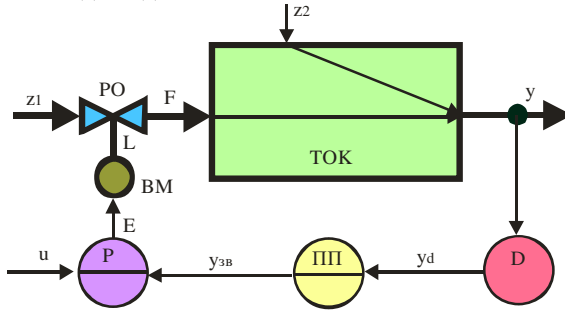


Рисунок 6.7 – Функціональна схема АСК за відхиленням

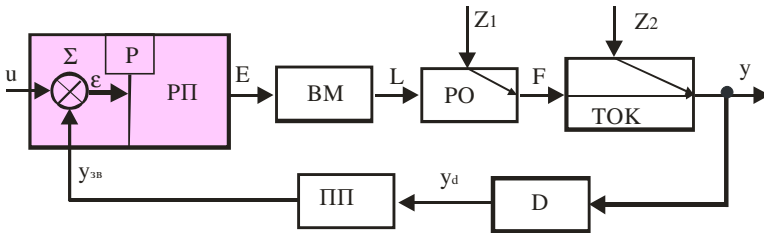


Рисунок 6.8 – Структурна схема АСК за відхиленням

Позначення:

Σ – суматор;

P – регулятор;

РП – регулюючий пристрій;

ВМ – виконавчий механізм;

РО – регулюючий орган;

ТОК – технологічний об'єкт керування;

ПП – проміжний перетворювач;

D – датчик

6.8.2 Принцип керування за збуренням

АСК за збуренням призначені для зменшення впливу того чи іншого найбільш значного збурюючого фактору. Вони відносяться до одноконтурних розімкнених систем керування. Основним елементом такої АСК є так званий компенсатор (К), який призначений для створення сигналу, який компенсує вплив каналу $z \rightarrow y$.

У цьому разі доцільно технологічний об'єкт керування умовно розділити на два об'єкти: $ТОК1$ за каналом регулювання і $ТОК2$ за каналом збурення. На рисунках 6.9 та 6.10 наведено функціональну та структурну схему АСК за збуренням відповідно.

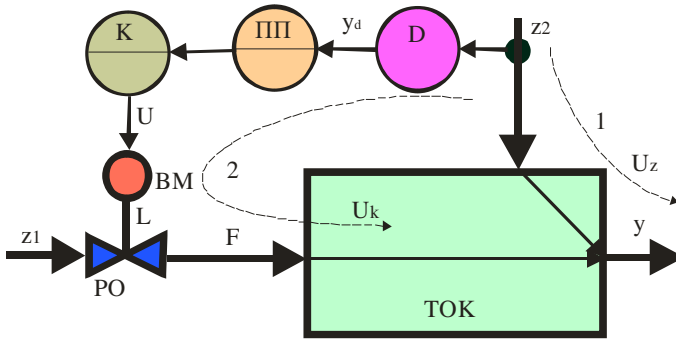


Рисунок 6.9 – Функціональна схема АСК за збуренням

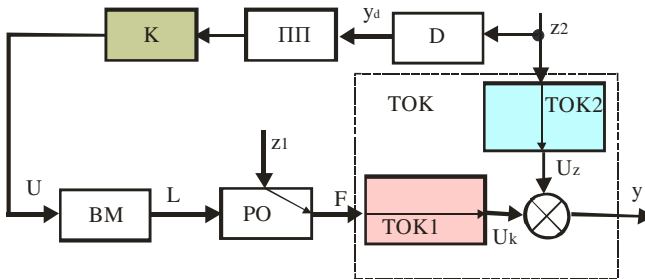


Рисунок 6.10 – Структурна схема АСК за збуренням

6.8.3 Комбінований принцип керування

Комбінований принцип керування поєднує в собі як принцип керування за відхиленням, так і принцип керування за збуренням. АСК,

які побудовані на такому принципі називаються комбінованими. Комбіновані АСК знайшли широке застосування для автоматизації хіміко-технологічних процесів, у яких мають місце сильні збурюючі фактори. Комбіновані АСК відносяться до замкнених і характеризуються основними двома елементами: регулятором і компенсатором. На рисунках 6.11 та 6.12 наведено функціональну та структурну схему комбінованої АСК відповідно.

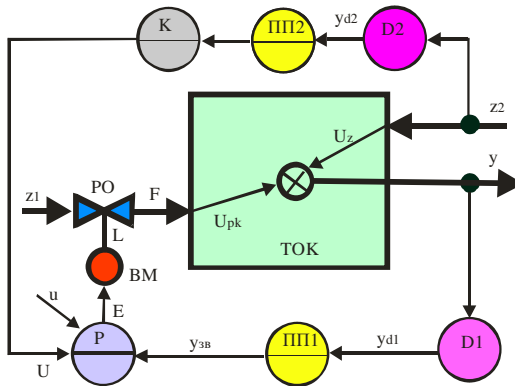


Рисунок 6.11 – Функціональна схема комбінованої АСК

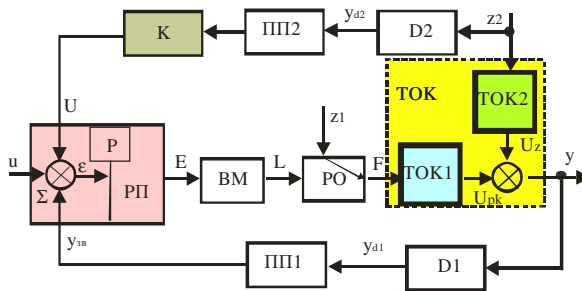


Рисунок 6.12 – Структурна схема комбінованої АСК

6.8.4 Каскадний принцип керування

Каскадні АСК складаються з контурів керування. Перший контур входить до складу другого контура, перший і другий контури входять до складу третього і так далі. Кожний контур має вхідну задаючу координату та вихідну регульовану координату, n – кількість контурів

керування. До складу кожного контура входить свій регулятор і свій об'єкт керування. На рисунках 6.13 та 6.14 наведено схему принципу каскадного керування та побудови каскадної АСК відповідно.

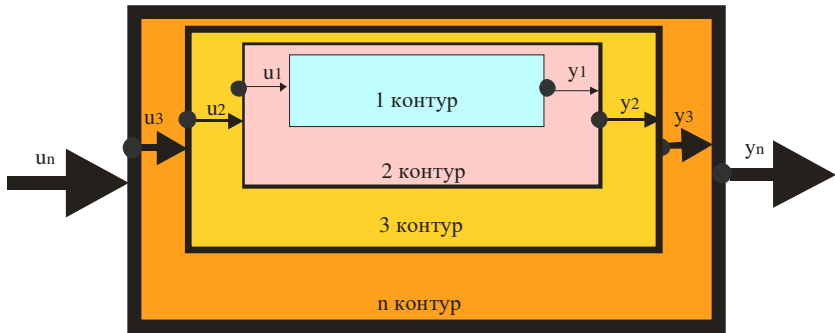


Рисунок 6.13 – Принцип каскадного керування

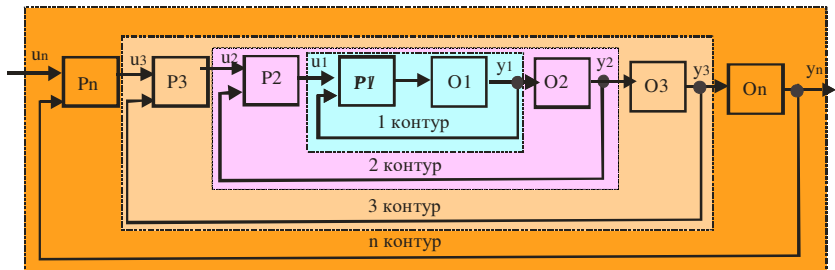


Рисунок 6.14 – Принцип побудови каскадної АСК

У каскадній АСК (рисунок 6.14) перший контур називається внутрішнім і складається з регулятора P_1 та об'єкта керування O_1 . По відношенню до першого другий контур називається коригуючим, а по відношенню до третього - внутрішнім. По відношенню до другого третій контур є внутрішнім, а по відношенню до наступного коригуючим і так далі. Останній n -ий контур є коригуючим або зовнішнім контуром для всієї каскадної АСК, а регулятор P_n називається коригуючим.

Розглянемо принцип визначення еквівалентної передавальної функції каскадної АСК.

Для першого контура рисунку 6.14 маємо:

$$W_1(s) = \frac{W_{P1}(s)W_{O1}(s)}{1 + W_{P1}(s)W_{O1}(s)} = \frac{N_1}{1 + N_1},$$

де $W_{P1}(s), W_{O1}(s)$ – передавальна функція регулятора та об'єкта керування першого контура відповідно.

Для *другого контура*

$$W_2(s) = \frac{W_{P2}(s)W_{O2}(s)W_1(s)}{1 + W_{P2}(s)W_{O2}(s)W_1(s)} = \frac{N_1N_2}{1 + N_1 + N_1N_2},$$

де $W_{P2}(s), W_{O2}(s)$ – передавальна функція регулятора та об'єкта керування другого контуру відповідно; $N_2 = W_{P2}(s)W_{O2}(s)$.

Для *третього контура* одержуємо

$$W_3(s) = \frac{W_{P3}(s)W_{O3}(s)W_2(s)}{1 + W_{P3}(s)W_{O3}(s)W_2(s)} = \frac{N_1N_2N_3}{1 + N_1 + N_1N_2 + N_1N_2N_3},$$

де $W_{P3}(s), W_{O3}(s)$ – передавальна функція регулятора та об'єкта керування третього контура відповідно; $N_3 = W_{P3}(s)W_{O3}(s)$.

Для деякого n -го контуру можна записати наступне рівняння

$$W_n(s) = \frac{\prod_1^n [W_{Pn}(s)W_{On}(s)]}{1 + \sum_{j=1}^n \prod_1^j [W_{Pn}(s)W_{Oj}(s)]} = \frac{\prod_1^n N_n}{1 + \sum_{j=1}^n \prod_1^j N_j}.$$

Функціональна схема двоконтурної АСК показана на рисунку 6.15.

Перший контур (внутрішній) каскадної АСК призначений для стабілізації витрати теплового чи матеріального потоку, який є сильним збурюючим параметром. При зміні збурення z_1 від його нормованого значення датчик $D1$ змінює вихідний сигнал y_{d1} , який з допомогою проміжного перетворювача $ПП1$ формує сигнал зворотного зв'язку $y_{зв1}$, котрий подається на внутрішній регулятор $P1$. Одночасно на цей регулятор поступає сигнал u_1 з коригуючого регулятора $P2$, який є задаючим сигналом.

Якщо змінюється вихідна координата y , то датчик $D2$ змінює сигнал y_{d2} , який з допомогою проміжного перетворювача формує сигнал зворотного зв'язку на регулятор $P2$. Так як $u_1=f(y)$, а $y_{зв1}=f(z_1)$, то сигнал на виході регулятора $P1$, який змінює положення виконавчого

механізму BM і регулюючого органу PO , а відповідно і витрату F , дорівнюватиме

$$E(t) = f(y, t) \pm f(z_1, t).$$

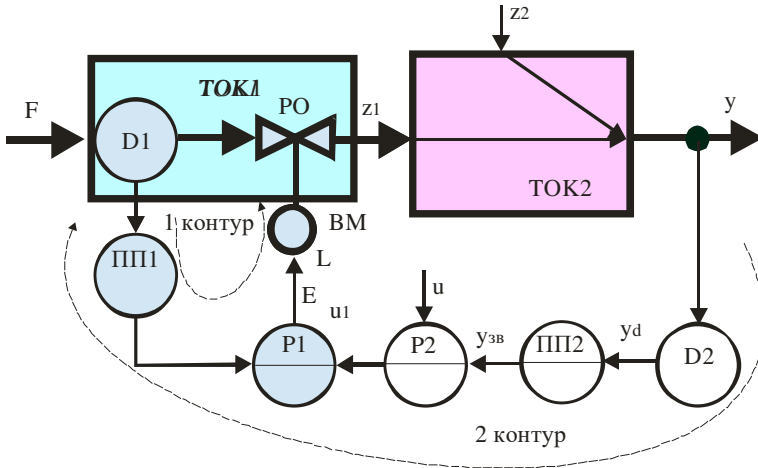


Рисунок 6.15 – Функціональна схема двоконтурної каскадної АСК

Структурна схема двоконтурної каскадної АСК приведена на рисунку 6.16.

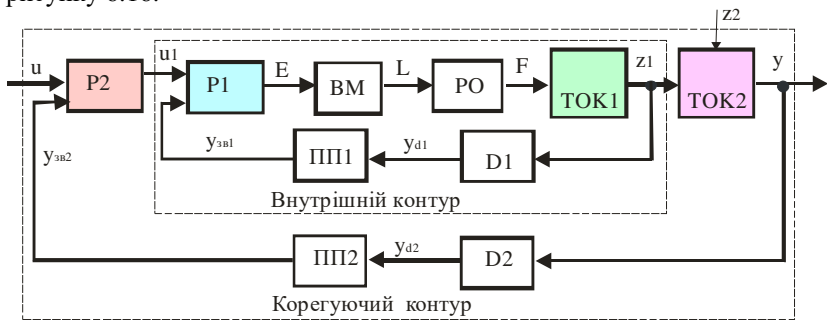
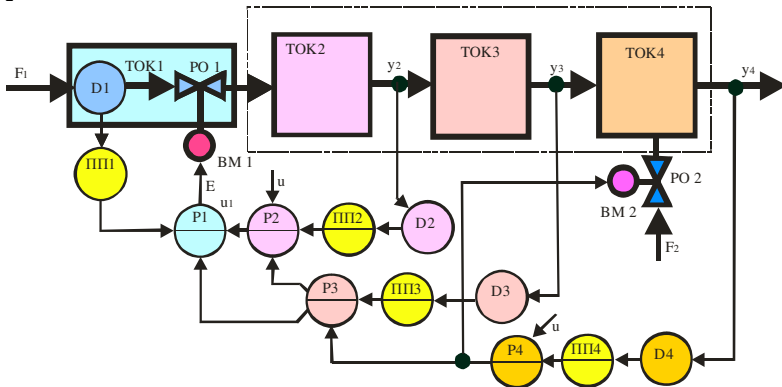


Рисунок 6.16 – Структурна схема двоконтурної каскадної АСК

Для автоматизації складних хіміко-технологічних об'єктів керування як, наприклад, полімеризатори, багатозонні газові реактори, в які одночасно подаються два і більше вхідних матеріальних потоки, використовуються складні каскадні системи керування.

Функціональна схема такої складної каскадної АСК приведена на рисунку 6.17. Технологічний об'єкт керування має три зони, кожна з яких є об'єктом керування: $TOK2$, $TOK3$ і $TOK4$. Задача полягає в тому, щоби стабілізувати технологічні параметри на виході кожної зони y_2 , y_3 та y_4 . Як видно з рисунка 6.16, корегуючий сигнал регулятора P_3 подається одночасно на регулятори P_1 і P_2 .

Регулятор P_4 формує корегуючий сигнал на регулятор P_3 . Одночасно цей регулятор формує одноконтурну АСК стабілізації вихідної координати y_4 за рахунок зміни витрати матеріального потоку F_2 .



Рисунку 6.17 – Функціональна схема складної каскадної АСК

6.8.5 Каскадно-комбінований принцип керування

Суть каскадно-комбінованого принципу керування полягає в тому, що на вхід корегуючого регулятора подається сигнал найбільш сильного збурюючого технологічного параметра. У цьому разі корегуючий сигнал u_1 , який є вихідним сигналом регулятора P_2 , дорівнює алгебраїчній сумі задаючого сигналу u , зворотного зв'язку $y_{3в}$ і компенсуючого сигналу u_k .

На рисунках 6.18 та 6.19 наведено функціональну та структурну схеми каскадно-комбінованої АСК відповідно.

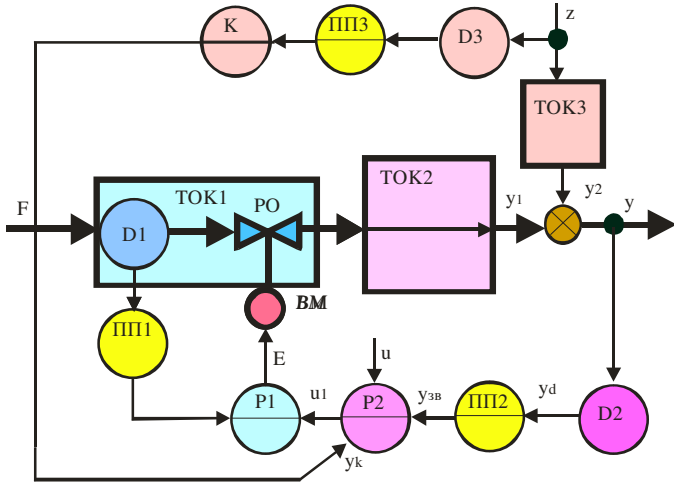


Рисунок 6.18 – Функціональна схема касадно-комбінованої АСК

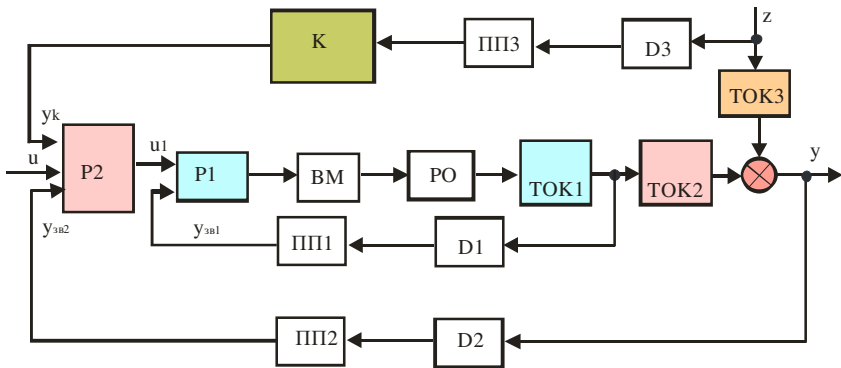


Рисунок 6.19 – Структурна схема касадно-комбінованої АСК

7 Виконання типового завдання

Курсовий робота – це індивідуальна робота виконавця, яка вимагає як досконалого виконання окремих його частин, так і творчого підходу. При цьому виконавець має забезпечити інформаційну наповненість окремих частин роботи.

7.1 Вступ

У цьому розділі наводиться коротка характеристика сучасного стану науково-технічної проблеми, відображаються актуальність і новизна роботи, її зв'язок із завданнями розвитку народного господарства. Вступ має закінчуватися чітким формулюванням мети роботи та завдань, які вирішуються в курсовій роботі.

7.2 Літературний огляд

Мета даного розділу – дати аналіз сучасного стану питань, що викладаються в роботі шляхом опрацювання патентної та науково-технічної літератури.

Особливу увагу слід приділити математичному моделюванню технологічних процесів, сучасним засобам контролю та регулювання, застосуванню обчислювальної та мікропроцесорної техніки, методам розрахунку складних АСК, а також питанням оптимізації. Наприкінці розділу необхідно дати загальний аналіз проблеми, що розглядається.

7.3 Коротка характеристика технологічного процесу. Апаратне оформлення процесу

Приступаючи до розробки розділу, студент повинен вивчити фізико-хімічні основи технологічного процесу з науково-технічних джерел інформації, а також технологічного регламенту базового підприємства. Зробити перелік і систематизацію всіх технологічних параметрів, виділити основні і допоміжні. Слід зазначити їх номінальні значення, а також можливі робочі, передаварійні та аварійні відхилення. Показати вплив цих відхилень на основні показники ефективності процесу.

7.4 Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування. Технологічні параметри, які підлягають автоматичному контролю, стабілізації, сигналізації та блокуванню

Аналіз виконується з метою підготовки технологічного процесу для обґрунтованого проектування автоматичних систем регулювання, АСК ТП, вирішення завдань контролю технологічних параметрів, блокувань та сигналізації. Для цього студент повинен представити

апарат хімічної технології як динамічну ланку (ланки), що мають вхідні і вихідні параметри.

До вихідних слід відносити параметри, що визначаються цільовими показниками технологічного процесу, наприклад: температура рідини на виході теплообмінника, концентрація речовини в реакторі, тиск пари в колонні тощо, а також ті параметри, які визначають заданий матеріальний або тепловий баланс об'єкта, наприклад рівень рідини в апараті (рисунок 7.1, а).

Вхідні параметри відносяться до збуджуючих дій і розділяються на параметри, за допомогою яких можна керувати вихідними параметрами, і параметри, які впливають на вихідні, але не є керуючими. Об'єкт керування слід показати у формі структурної схеми. Керуючі вхідні параметри вказати ліворуч, керовані вихідні – праворуч, а решта збуджуючих факторів – зверху. Крім того, вказати пунктирними лініями зв'язок між вхідними та вихідними параметрами, як це показано на рисунку 7.1, б.

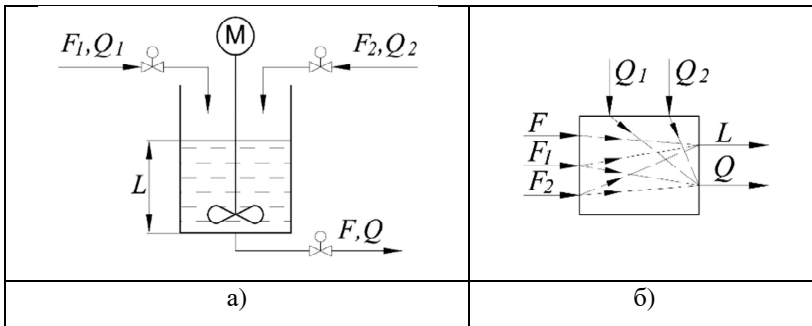


Рисунок 7.1 – Структурне представлення об'єкта керування

При такому поданні об'єкта керування наочно видно, що підлягають регулюванню рівень L рідини, оскільки він підтримує в ньому матеріальний баланс, і концентрація Q , оскільки вона обумовлює вирішення цільової задачі. Керуючими параметрами рівня можуть бути вхідні матеріальні потоки F_1 і F_2 , а також вихідний потік F , якщо наступний технологічний процес не пред'являє особливих вимог до його стабільності. Керуючими параметрами концентрації Q можуть бути тільки вхідні потоки F_1 і F_2 . Концентрації Q_1 , і Q_2 обумовлені попередніми технологічними процесами, тому впливати на них неможливо. Однак за наявності автоматичних засобів контролю їх можна використовувати як коригувальні параметри.

У цьому розділі слід зазначити номінальні значення всіх

параметрів та їх допустимі відхилення в технологічному регламенті; параметри, що підлягають обов'язковому поточному контролю і сигналізації при критичних перевищеннях. Зробити оцінку їх прямого або непрямого виміру, а також дати пропозиції за способами впливу на керуючі параметри. Розділ повинен закінчуватися пропозиціями щодо розробки локальних АСР, систем автоматичного контролю, сигналізації та блоківровок.

7.5 Синтез автоматичної системи регулювання

Одноконтурні АСР будують за принципом: величина, що керує – керована величина. Причому величина, що керує, може надходити до технологічного об'єкту як по каналу завдання, так і по каналу збурення. Типова АСР складається з об'єкта регулювання ОР, вимірювального перетворювача ВП, проміжного та нормуючого перетворювачів ПП (при необхідності), автоматичного регулятора АР, підсилювача П та виконавчого механізму ВМ.

Структурна схема одноконтурної АСР залежить від каналу проходження сигналу через об'єкт керування: вплив, що збурює – вихідний сигнал або вплив, що задає – вихідний сигнал.

На рисунку 7.2 показана структурна схема АСР при проходженні через об'єкт такого впливу, що збурює ($U = 0$).

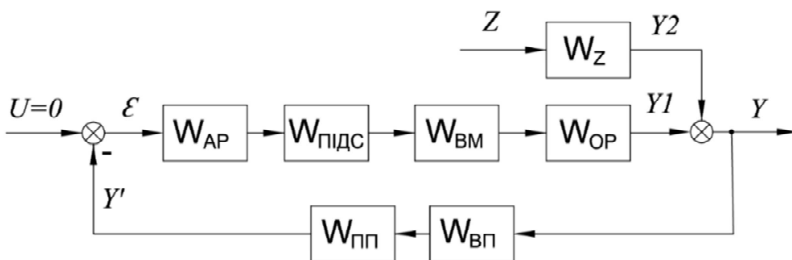


Рисунок 7.2 – Структурна схема АСР при проходженні через об'єкт такого впливу, що збурює.

Передавальні функції блоків:

$W_{ОР}$ – об'єкт регулювання,

W_Z – сигнал збурення, що надходить до об'єкта регулювання,

$W_{ВП}$ – вимірювальний перетворювач,

$W_{ПП}$ – проміжний перетворювач,

$W_{АР}$ – автоматичний регулятор,

$W_{ПІДС}$ – підсилювач керуючого сигналу,

$W_{ВМ}$ – виконавчий механізм.

На рисунку 7.3 показана структурна схема АСР при проходженні через об'єкт такого впливу, що задає ($Z = 0$).

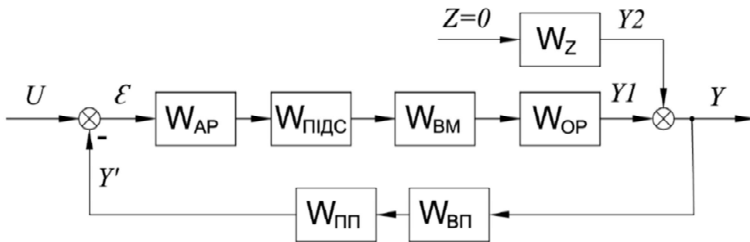


Рисунок 7.3 – Структурна схема АСР при проходженні через об'єкт такого впливу, що задає

Каскадна АСР складається з кількох контурів регулювання. При виборі каскадних систем слід попередньо оцінити час запізнення за основним і допоміжним контурами регулювання. Каскадні системи ефективні в тому випадку, якщо час запізнення по основному контуру більше, ніж по допоміжному. Стабілізуючий контур призначений для регулювання допоміжної величини, а коригуючий – основної (вихідної). Зазвичай, практично застосовують такі типи двоконтурних каскадних АСР, де перший регулятор є стабілізуючим, а другий – коригуючим: **II-III**; **III-III**; та **III-IIIД**.

Застосування каскадних систем призводить до зменшення перерегулювання (динамічної помилки), часу регулювання та інтегральної квадратичної помилки регулювання. Структурна схема двоконтурної каскадної АСР наведена на рисунку 7.4.

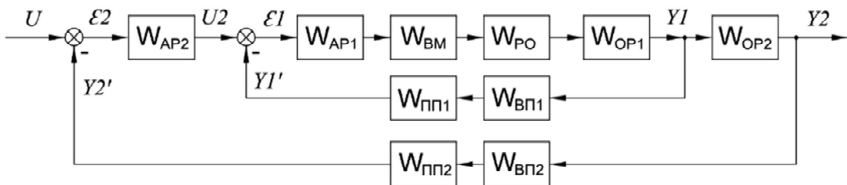


Рисунок 7.4 – Структурна схема каскадної АСР.

Передавальні функції блоків:

W_{OP1} – об'єкт регулювання внутрішнього контуру,

W_{OP2} – об'єкт регулювання зовнішнього контуру,

W_{BP1} – вимірювальний перетворювач внутрішнього контуру,

W_{BP2} – вимірювальний перетворювач зовнішнього контуру,

W_{PP1} – проміжний перетворювач внутрішнього контуру,

W_{PP2} – проміжний перетворювач зовнішнього контуру,

W_{AP1} – автоматичний регулятор внутрішнього контуру,

W_{AP2} – автоматичний регулятор зовнішнього контуру,

W_{BM} – виконавчий механізм,

W_{PO} – регулюючий орган.

Для знаходження передавальної функції такої системи спочатку визначають еквівалентну передатну функцію внутрішнього (стабілізуючого) контуру, а потім – зовнішнього (коригуючого).

7.6 Розробка математичних моделей об'єктів керування

На підставі відомих фізико-хімічних закономірностей необхідно розробити динамічні моделі матеріального та теплового балансу технологічного процесу.

Під впливом процесів, що відбуваються в об'єкті, відбувається зміна об'ємної густини субстанції в часі і просторі. Ці зміни описуються за допомогою законів збереження, що символічно можна записати таким чином:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Сума потоків субстанції,} \\ \text{що надходить у об'єкт} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{Сума потоків субстанції,} \\ \text{що виходить з об'єкту} \end{array} \right] \\ = \frac{\partial}{\partial t} \left[\begin{array}{l} \text{кількість} \\ \text{субстанції} \end{array} \right]$$

У правій частині цього рівняння стоїть похідна у часі кількості субстанції в об'ємі, що розглядається. Так як вона являє собою різницю потоків, що надходять у апарат, та потоків, що виходять із нього, то її можна назвати швидкістю накопичення субстанції. У динамічних умовах швидкість накопичення субстанції завжди не дорівнює нулю.

Для того, щоб скласти математичну модель об'єкта (технологічного апарату), слід скласти рівняння матеріального балансу за кожним вихідним параметром з аналізу технологічного процесу як об'єкта керування. Воно матиме вигляд:

$$dm_{\text{вх}} = dm_V + dm_{\text{вих}},$$

де $dm_{\text{вх}}$ – маса речовини, що надходить до об'єкту;
 dm_V – маса речовини, що накопичується в об'єкті;
 $dm_{\text{вих}}$ – маса речовини, що виходить з об'єкту.

Визначаємо складові балансу через технологічні параметри.

$$dm_{\text{вх}} = F_{\text{вх}} \cdot dt, \quad dm_{\text{вих}} = F_{\text{вих}} \cdot dt$$

де $F_{\text{вх}}, F_{\text{вих}}$ – масові витрати речовини, що надходить та виходить з об'єкту, [кг/с];
 t – час, [с].

$$dm_V = V \cdot \frac{d\rho}{dt},$$

де V – об'єм технологічного апарату, [м³],
 ρ – густина речовини, [кг/м³].

Виконаємо лінеаризацію нелінійної математичної моделі. Для цього рівняння моделі розкладається в ряд Тейлора за кожною змінною в околі номінального значення параметру. Після чого відкидається вся нелінійна частина ряду, залишаючи лінійну частину моделі.

Наступним етапом здійснюється перехід до відносних величин параметрів, а саме:

1) Прирошення параметру помножується на відношення номінальних значень параметру, що не змінює результат, наприклад:

$$\Delta P \cdot \frac{P_0}{P_0}$$

2) Виділяється відносне значення параметра та позначається новою безрозмірною змінною:

$$\Delta P \cdot \frac{P_0}{P_0} = P_0 \cdot \frac{\Delta P}{P_0} = P_0 \cdot y,$$

де $y = \frac{\Delta P}{P_0}$.

Далі робиться об'єднання змінних та перенос вихідних параметрів у ліву частину рівняння, вхідних – у праву. Наступним етапом приводим диференційне рівняння до канонічного вигляду. У випадку одного вихідного параметру та двох вхідних (одного –

керуючого та одного – збурюючого) рівняння набуде вигляду:

$$\tau \cdot \frac{dy}{dt} + y = K_1 \cdot x + K_2 \cdot z,$$

де τ – стала часу;

K_1 – коефіцієнт при керуючому параметрі моделі,

K_2 – коефіцієнт при збурюючому параметрі моделі.

Якщо технологічний об'єкт має декілька вихідних параметрів, то його математична модель буде описуватися системою диференціальних рівнянь. Буде необхідність розв'язувати систему відносно кожного вихідного параметру.

Отримавши диференціальне рівняння, робимо його перетворення за Лапласом при нульових початкових умовах.

$$\tau \cdot s \cdot Y(s) + Y(s) = K_1 \cdot X(s) + K_2 \cdot Z(s).$$

Тепер можна отримати передавальні функції математичної моделі об'єкта за кожним каналом керування і збурення.

$$W(s)_{x \rightarrow y} = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K_1}{\tau \cdot s + 1},$$

$$W(s)_{z \rightarrow y} = \frac{Y(s)}{Z(s)} = \frac{K_2}{\tau \cdot s + 1}.$$

Для отримання кінцевого виду рівнянь математичної моделі необхідно додати час чистого запізнення проходження сигналу від джерела сигналу до місця його фіксації. В даному випадку це буде час проходження збурення від регулюючого органу до датчику рівня в ємності (рисунок 7.1, а). Якщо вихідним параметром, що підлягає регулюванню є рівень рідини в ємності, а регулюючим органом є вентиль на виході рідини з ємності, то час запізнення буде розраховуватися як час, за який рідина проходить скрізь об'єм рідини в ємності. Це буде шлях між датчиком рівня та регулюючим органом.

Таким чином, математичні моделі набудуть свого кінцевого виду:

$$W(s)_{x \rightarrow y} = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K_1}{\tau \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau_{z1} \cdot s},$$

$$W(s)_{z \rightarrow y} = \frac{Y(s)}{Z(s)} = \frac{K_2}{\tau \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau_{\text{аз}} \cdot s}.$$

Аналогічно здійснюється розробка математичної моделі на підставі теплового балансу.

7.7 Аналіз стійкості об'єктів та систем керування

При аналізі та синтезі систем керування зі зворотним зв'язком їхня стабільність має першорядне значення. З практичної точки зору, нестабільна система не має сенсу. Проте, можуть бути винятки. Існують реальні системи об'єктивно нестабільні в розімкненому стані, а деякі навіть розробляються саме такими, наприклад, більшість сучасних літаків-винищувачів. Якщо не застосовувати активні зворотні зв'язки, які допомагають пілотам керувати такими машинами, вони нестабільні і просто не можуть літати.

Але ми розглядаємо лише звичайні технологічні системи, які обов'язково мають бути стабільними. Тому інженер-проектувальник повинен у першу чергу забезпечити стабільність системи, а потім піклуватися про забезпечення інших вимог до динаміки системи, такі як усталена помилка, відносно перерегулювання, час усталення, час максимуму перехідної характеристики та інших.

Завжди можна сказати, що замкнута система є або стійкою, або нестійкою.

Стійка система визначається як система з обмеженою реакцією. Іншими словами, якщо система піддається обмеженому вхідному сигналу або збуренню, а її реакція також обмежена за модулем, то така система називається стійкою.

Реакція системи на відхилення, або початкові умови, або загасатиме, або залишатиметься нейтральною, або наростатиме.

Згідно з визначенням, лінійна система стійка тоді і тільки тоді, якщо інтеграл у нескінченних межах від абсолютного значення її імпульсної перехідної функції $g(t)$ є кінцевим. Інакше кажучи, необхідно, щоб при обмеженому вхідному сигналі інтеграл

$$\int_0^{\infty} |g(t)| dt$$

був кінцевим.

З аналізу характеристичного рівняння передавальної функції системи випливає, що реакція системи буде обмеженою, якщо всі

полюси замкнутої системи будуть знаходитися в лівій половині s -площини. Таким чином, необхідна та достатня умова стійкості замкнутої системи полягає в тому, щоб усі полюси передавальної функції системи мали негативну дійсну частину. Інакше вважатимемо систему нестійкою.

Для визначення стійкості системи на основі аналізу її характеристичного рівняння розроблено ряд умов та критеріїв.

Умовою стійкості системи є те, що всі коефіцієнти характеристичного полінома повинні мати один і той самий знак. Це є ознакою того, що всі його корені розташовані в лівій s -півплощині. Також необхідно, щоб усі коефіцієнти були відмінними від нуля. Однак ці умови є лише необхідними, але не достатніми. Це означає, що якщо дані умови не виконуються, то відразу можна сказати, що система нестійка. Але, навіть якщо ці умови виконуються, то для відповіді на питання про стійкість системи необхідні подальші дослідження.

Необхідну та достатню умову стійкості лінійних систем дає, наприклад, критерій Рауса-Гурвіца.

Але у багатьох практичних випадках, якщо виконуються необхідні умови стійкості, досить легко побудувати криву відклику системи на стандартний вхідний сигнал, наприклад, одиничну сходинку. Якщо перехідний процес має усталений характер, то можна зробити висновок про стійкість системи. Побудувати криву перехідного процесу можна в пакетах прикладних програм:

- «Maple» – додаток Д, приклад 1;
- «MatLab» – додаток Е, текст файлу «Transition_process.m».

7.8 Розрахунок оптимальних налагоджень регуляторів

Регулятор займає особливе місце в АСР. На вхід регулятора завжди подається як мінімум два сигнали: сигнал завдання u і сигнал керованої координати y . Суматор, до якого надходять ці сигнали, формує відповідний сигнал суми або різниці θ і передає його до регулятора. Регулятор, у відповідності до закладеного закону керування, формує вихідний сигнал E , якій поступає безпосередньо на виконавчий механізм, з яким, як правило, жорстко зв'язаний регулюючий орган (рис. 7.5). Останній змінює вхідну координату ТОК у ту чи іншу сторону таким чином, щоби виповнювалася рівність: $y = u$.

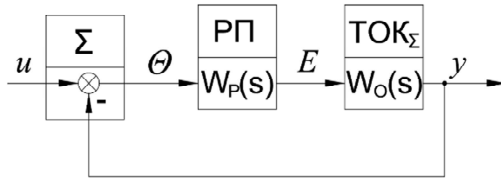


Рисунок 7.5 – Структурна схема АСР:
 Σ – суматор; РП – регулюючий пристрій;
 ТОК $_{\Sigma}$ – технологічний об’єкт керування

Нехай об’єкт керування являє собою деякий еквівалентний об’єкт, до складу якого входить виконавчий механізм, регулюючий орган і вимірювальний перетворювач вихідної координати y . Позначимо його ТОК $_{\Sigma}$. Якщо $W_p(s)$ – передавальна функція регулятора, а $W_0(s)$ – передавальна функція ТОК $_{\Sigma}$, то еквівалентна передавальна функція АСР $W_E(s)$ матиме вигляд

$$W_E(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{W_p(s) \cdot W_0(s)}{1 + W_p(s) \cdot W_0(s)}. \quad (7.1)$$

Для П-регулятора $W_{p,П}(s) = K_p$, де K_p – коефіцієнт підсилення регулятора.

$$\text{Для ІІ-регулятора } W_{p,ІІ}(s) = K_p + 1/(T_i \cdot s),$$

де T_i – час інтегрування.

$$\text{Для ІІД-регулятора } W_{p,ІІД}(s) = K_p + 1/(T_i \cdot s) + T_d \cdot s,$$

де T_d – час диференціювання.

Параметри K_p, T_i, T_d є налагоджувальними параметрами регулятора, які необхідно визначити.

Серед сучасних інженерних методів розрахунку оптимальних налагоджувальних регуляторів одним з найбільш застосовуваних є метод незагасаючих коливань. Також широко застосовується метод на основі визначення максимальної швидкості реакції системи на зовнішні збурення.

7.8.1 Метод незагасаючих коливань (Циглера-Нікольса)

Метод ґрунтується на умові, аналогічній критерію Найквіста: якщо розімкнена система має ступінь коливання не нижче заданої, то замкнута система матиме заданий ступінь коливання в тому випадку, коли розширена амплітудно-фазова характеристика розімкненої системи проходить через точку $(1, j \cdot 0)$, тобто

$$W_{\text{розімкн.сист}}(m, j \cdot \omega) = 1, \quad (7.2)$$

де m – ступінь коливальності системи.

Для системи, що наведена на рис. 7.5, маємо

$$W_{\text{розімкн.сист}}(m, j \cdot \omega) = W_P(m, j \cdot \omega) \cdot W_O(m, j \cdot \omega), \quad (7.3)$$

де

$$W_P(m, j \cdot \omega) = A_P(m, \omega) \cdot e^{j \cdot \varphi_P(m, \omega)};$$

$$W_O(m, j \cdot \omega) = A_O(m, \omega) \cdot e^{j \cdot \varphi_O(m, \omega)}.$$

Рівняння (7.2) рівносильно рівнянню (за умови $m = 0$):

$$A_P(\omega) \cdot e^{j \cdot \varphi_P(\omega)} \cdot A_O(\omega) \cdot e^{j \cdot \varphi_O(\omega)} = 1, \quad (7.4)$$

де $A_P(\omega), A_O(\omega)$ – амплітудно-частотна характеристика регулятора та об'єкта керування відповідно;

$\varphi_P(\omega), \varphi_O(\omega)$ – фазо-частотна характеристика регулятора та об'єкта керування відповідно;

ω – кутова частота.

Рівняння (7.4) виконується тоді, коли

$$A_P(\omega) \cdot A_O(\omega) = 1, \quad (7.5)$$

а також

$$e^{j \cdot \varphi_P(\omega)} \cdot e^{j \cdot \varphi_O(\omega)} = e^{j \cdot \varphi_P(\omega) + j \cdot \varphi_O(\omega)} = e^0 = 1. \quad (7.6)$$

З (7.6) отримуємо умову

$$\varphi_P(\omega) + \varphi_O(\omega) = 0. \quad (7.7)$$

Досягнути межі стійкості системи можна за рахунок підвищення коефіцієнта підсилення регулятора. Для цього приймемо, що АСР має П-регулятор. Такий регулятор має один налаштовуваний параметр – коефіцієнт підсилення (пропорційності) K_p .

Незагасаючі коливання в замкнутому контурі об'єкта з П-регулятором, що знаходиться на межі стійкості, виникають на частоті

ω_{180° , на якій фазовий зсув вихідного синусоїдального сигналу після об'єкту відносно вхідного сигналу становить (-180°). Тобто

$$\varphi_0(\omega_{кр}) = -\pi, \quad (7.8)$$

і, відповідно до рівняння (7.7),

$$\varphi_p(\omega_{кр}) = \pi.$$

Для П-регулятора передавальна частотна характеристика має вигляд

$$W_p(\omega) = A_p(\omega) \cdot e^{j \cdot \varphi_p(\omega)}.$$

Для критичної частоти

$$A_p(\omega_{кр}) \cdot e^{j \cdot \varphi_p(\omega_{кр})} = K_p \cdot e^{j \cdot \pi}, \quad (7.9)$$

де $e^{j \cdot \pi} = -1$ (тотожність Ейлера).

З рівняння (9) маємо

$$A_p(\omega) = K_p.$$

7.8.2 Розрахунок оптимальних налаштувань регуляторів за методом незагасаючих коливань (Циглера-Нікольса)

Враховуючи рівняння (7.5) – умову критичного режиму, при якому наступає межа стійкості АСР, критичний коефіцієнт підсилення регулятора знаходиться як:

$$K_{p \text{ кр}} = \frac{1}{A_0(\omega_{кр})}. \quad (7.10)$$

де $\omega_{кр}$ – критична частота коливань перехідного процесу АСР,
 A_0 – амплітудно-частотна характеристика розімкненого об'єкту.

Критичну частоту $\omega_{кр}$ можна знайти з рівняння (7.8).

При застосуванні графічного методу, будують фазочастотну характеристику (ФЧХ) розімкненого об'єкту $\varphi_0(\omega) = f(\omega)$. Рівняння для ФЧХ АСР має вигляд:

$$\varphi_0(\omega) = \arctan \frac{Im(\omega)}{Re(\omega)}, \quad (7.11)$$

де $Im(\omega), Re(\omega)$ – уявна та дійсна частотні характеристики розімкненого об'єкту керування відповідно.

Форми кривих ФЧХ і графічний метод визначення критичної частоти $\omega_{кр}$ показаний на рисунку 7.6.

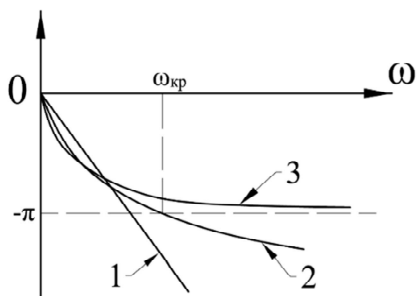


Рисунок 7.6 – Форми кривих ФЧХ при визначенні критичної частоти:
 1 – ланки чистого запізнення; 2 – об'єкта з часом чистого запізнення;
 3 – об'єкта без часу чистого запізнення

У випадку, якщо при побудові графіка ФЧХ діапазон функції обмежується значенням $(-\pi/2)$, як це показано на рисунку 7.7, то в діапазоні π функція буде мати розрив (вертикальна пряма).

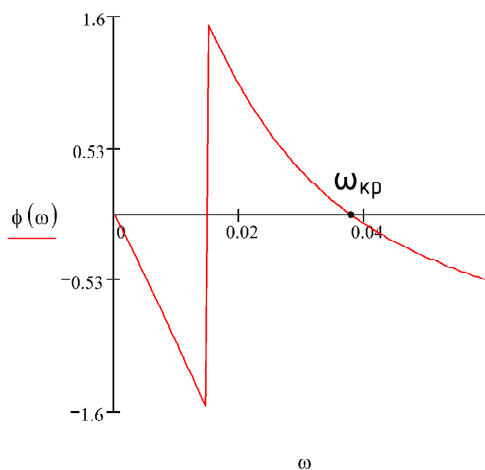


Рисунок 7.7 – ФЧХ об'єкта

Тоді значення критичної частоти $\omega_{кр}$ буде на перетинанні функції з частотною віссю: $\omega_{кр} \approx 0.038$.

Підставивши значення критичної частоти в рівняння (7.10), розраховуємо критичний коефіцієнт підсилення $K_{р кр}$ для П-регулятора. Це є основою для отримання параметрів і більш складних регуляторів.

Мета розрахунку АСР – визначити оптимальні налаштування регуляторів, що забезпечують стійкість системи та завдані показники якості її роботи у динамічному режимі.

За $\omega_{кр}$ і $K_{р кр}$ визначають оптимальні налагоджувальні параметри регуляторів за формулами, наведеними в табл. 7.1. Розраховані за табл. 7.1 налагоджувальні параметри регуляторів забезпечують степінь загасання $\alpha = 0.8 \dots 0.9$.

Таблиця 7.1 – Оптимальні параметри регуляторів, що визначаються методом незагасаючих коливань (Циглера-Нікольса)

Тип регулятора	Формули для розрахунку оптимальних настоювань регулятора		
	Коефіцієнт підсилення, K_p	Час інтегрування, T_i	Час диференціювання, T_d
П-регулятор	$0.5 \cdot K_{р кр}$	–	–
ПІ-регулятор	$0.45 \cdot K_{р кр}$	$11.63 / (K_{р кр} \cdot \omega_{кр})$	–
ПІД-регулятор	$0.6 \cdot K_{р кр}$	$5.21 / (K_{р кр} \cdot \omega_{кр})$	$0.47 \cdot K_{р кр} / \omega_{кр}$

Метод незагасаючих коливань достатньо простий, забезпечує в системі заданий запас стійкості, але не гарантує екстремуму показника якості перехідного процесу (інтегрального, дисперсійного тощо).

Побудувати частотні характеристики системи (АЧХ, ФЧХ) можна в пакетах прикладних програм:

- «Maple» – додаток Д, приклад 2;
- «MatLab» – додаток Е, текст файлів «Frequency_characteristics.m» та «Array_form.m».

7.8.3 Метод максимальних швидкостей перехідного процесу

Метод максимальних швидкостей перехідного процесу відноситься до експериментальних методів. Відповідно до цього методу необхідно визначення постійної часу об'єкта керування на основі реальної або теоретичної (розрахункової) кривої розгону об'єкта керування.

На рис. 7.8 наведено криву розгону об'єкта керування.

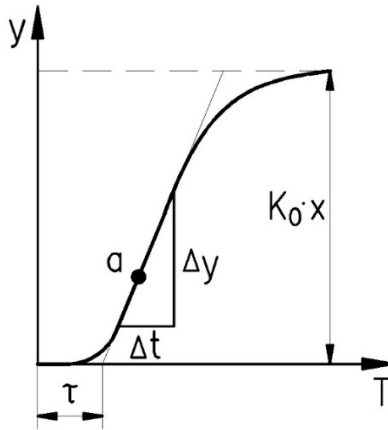


Рисунок 7.8 – Крива розгону об'єкта керування

Метод призначений для об'єктів керування, які можна віднести до аперіодичних та описуються диференціальними рівняннями другого та більше порядків. Криві розгону таких об'єктів керування мають S-подібну форму, а значить і максимальну швидкість у точці перегину при виході на режим (точка α).

На кривій розгону об'єкта керування навколо точки α будується прямокутний трикутник і визначається максимальна швидкість перехідного процесу як відношення прирощення функції до прирощення аргументу. Таким чином, максимальна швидкість перехідного процесу визначається як

$$v_{max} = \frac{\Delta y}{\Delta t}.$$

Використовуючи швидкість v_{max} і час чистого запізнення τ , визначають параметри регуляторів, що налаштовуються.

Оптимальні параметри регуляторів, що визначаються методом максимальних швидкостей, представлені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Оптимальні параметри регуляторів, що визначаються методом максимальних швидкостей

Тип регулятора	Формули для розрахунку оптимальних настанов регулятора		
	Коефіцієнт підсилення, K_p	Час інтегрування, T_i	Час диференціювання, T_d
П-регулятор	$v_{max} \cdot \tau$	–	–
ПІ-регулятор	$1.2 \cdot v_{max} \cdot \tau$	$2 \cdot \tau$	–
ПІД-регулятор	$0.83 \cdot v_{max} \cdot \tau$	$2 \cdot \tau$	$T_i/4.5$

Обрахунок настроювальних параметрів регулятора за методом максимальних швидкостей можна за допомогою пакета прикладних програм «MatLab» – додаток E, текст файлу «Maximum_speed.m».

7.8.4 Покращення налагоджувальних параметрів регуляторів

У більшості випадків розрахункові значення налагоджувальних параметрів регуляторів є лише наближенням до оптимальних значень. Простим і досить ефективним методом їхнього покращення з застосуванням ЕОМ та прикладних математичних пакетів (Maple, MathCAD тощо) є метод циклічної зміни параметрів з наступною перевіркою якості перехідного процесу.

7.8.5 Апроксимація ланки з часом чистого запізнення

Виходячи з рис. 6, даний метод визначення $\omega_{кр}$ можна застосовувати лише для об'єктів, що описуються передавальною функцією з часом чистого запізнення, наприклад,

$$W_{x \rightarrow y}(s) = \frac{K_1}{\tau_1 \cdot s + 1} \cdot \exp(-\tau_3 \cdot s).$$

Але не всі математичні пакети, що застосовуються для розрахунків, здатні обробляти ланки, що містять час чистого запізнення. Подолати цю проблему можна шляхом апроксимації елементів, що містять час чистого запізнення, наближеною залежністю.

У випадку, якщо час чистого запізнення досить малий, то, розклавши ланку чистого запізнення у ряд Маклорена та нехтуючи

складовими, що містять час чистого запізнення у другій та вищих степенях, отримуємо:

$$\exp(-\tau_3 \cdot s) = 1 - \tau_3 \cdot s.$$

Інший варіант – розкладення в ряд Паде:

$$\exp(-\tau_3 \cdot s) = \frac{1 - 0.5 \cdot s \cdot \tau}{1 + 0.5 \cdot s \cdot \tau};$$

$$\exp(-\tau_3 \cdot s) = \frac{1 - 0.5 \cdot s \cdot \tau + 0.083 \cdot s^2 \cdot \tau^2}{1 + 0.5 \cdot s \cdot \tau + 0.083 \cdot s^2 \cdot \tau^2}.$$

7.8.6 Алгоритм розрахунку автоматичної системи регулювання

1). Здійснюється аналіз об'єкта регулювання з визначенням вихідних, вхідних і збурюючих параметрів.

2). На основі аналізу обираються параметри, що підлягають регулюванню, та параметри, якими слід здійснювати регулювання (Додаток Ж, гл. 7. Синтез автоматичної системи регулювання).

3). Обирається одноконтурна або двоконтурна каскадна система регулювання. Розробляється функціональна схема системи регулювання (Додаток Ж. Функціональна схема АСР).

4). Виконується математичне моделювання об'єкта регулювання з отриманням його математичної моделі у вигляді передавальної функції. Для двоконтурної системи додатково моделюється відрізок трубопроводу як об'єкт регулювання у внутрішньому контурі (*підрозділ 7.6 Розробка математичних моделей об'єктів керування*).

5). Здійснюється перевірка отриманої математичної моделі на стійкість (*підрозділ 7.7 Аналіз стійкості об'єктів та систем керування*). Якщо перевірка підтвердила стійкість моделі об'єкта керування, то виконується перехід до наступного пункту. В іншому випадку алгоритм повторюється з п.1, оскільки технологічний об'єкт, що є об'єктом керування, апіорі стійкий. Це означає, що в процесі побудови математичної моделі допущені помилки.

6). Якщо здійснюється синтез одноконтурної АСР (рисунок 7.5), то виконується перехід до наступного пункту. Якщо здійснюється синтез багатоконтурної (каскадної) АСР, то розглядається внутрішній (стабілізуючий) контур системи як окрема одноконтурна АСР (рисунок 7.5). Далі здійснюється синтез внутрішнього контуру каскадної АСР як окремої одноконтурної АСР.

7). Розраховуються налаштування регулятора за алгоритмом, що наведений у підрозділі 7.8. (*Розрахунок оптимальних налаштувань регуляторів*). Для розрахунку обираються:

7.1) Метод незагасаючих коливань (Циглера-Нікольса).

7.2) Метод максимальних швидкостей. Він простіший, у порівнянні з методом незагасаючих коливань (Циглера-Нікольса), але менш точний.

8). Формується математична модель одноконтурної системи регулювання у вигляді еквівалентної передавальної функції для одноконтурної АСР або еквівалентної передавальної функції для внутрішнього контуру двоконтурної АСР – $W_{\text{ЕВК}}(s)$. Для забезпечення адекватності моделі додаємо додатковий блок $W_{31}(s)$ – ланку запізнення за каналом регулювання:

$$W_{\text{ЕВК}}(s) = \frac{W_{\text{АП1}}(s) \cdot W_{\text{ВМ}}(s) \cdot W_{\text{ОП1}}(s) \cdot W_{31}(s)}{1 + W_{\text{ВП1}}(s) \cdot W_{\text{ПП1}}(s) \cdot W_{\text{АП1}}(s) \cdot W_{\text{ВМ}}(s) \cdot W_{\text{ОП1}}(s) \cdot W_{31}(s)}. \quad (7.12)$$

9). Здійснюється перевірка отриманої системи регулювання на стійкість (*підрозділ 7.7 Аналіз стійкості об'єктів та систем керування*). Якщо перевірка підтвердила стійкість системи регулювання, то виконується перехід до розрахунку якісних показників АСР (*підрозділ 7.10. Дослідження якості систем регулювання*). В іншому випадку алгоритм повторюється з п.6.

10). Після отримання моделі внутрішнього контуру у вигляді еквівалентної передавальної функції внутрішнього контуру $W_{\text{ЕВК}}(s)$, еквівалентна передавальна функція об'єкта регулювання зовнішнього контуру набуває вигляду:

$$W_{\text{ОРЗК}}(s) = W_{\text{ЕВК}}(s) \cdot W_{\text{ОП2}}(s) \cdot W_{32}(s). \quad (7.13)$$

де $W_{32}(s)$ – ланка запізнення за каналом збурення (зовнішній контур регулювання).

11). Тепер у структурній схемі двоконтурної системи регулювання внутрішній контур замінюється його еквівалентною моделлю – передавальною функцією $W_{\text{ОРЗК}}(s)$, яка стає об'єктом керування для зовнішнього контуру. При цьому, двоконтурна система перетворюється в одноконтурну систему, що наведена на рис. 7.9.

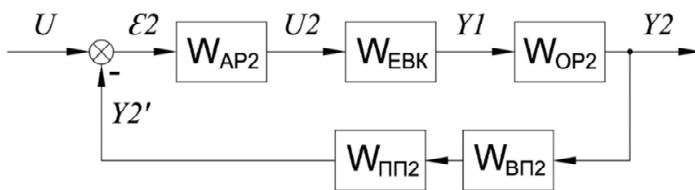


Рисунок 7.9 – Структурна схема каскадної АСР з еквівалентним об'єктом регулювання у внутрішньому контурі

12). Розрахунок отриманої одноконтурної системи проводиться починаючи з п.6.

13). Здійснюється перевірка отриманої системи регулювання на стійкість (*підрозділ 3.7 Аналіз стійкості об'єктів та систем керування*). Якщо перевірка підтвердила стійкість системи регулювання, то виконується перехід до розрахунку якісних показників АСР (*підрозділ 3.10. Дослідження якості систем регулювання*). В іншому випадку алгоритм повторюється з п.10.

14). Для розробленої АСР відповідно до її функціональної схеми робиться вибір технічних засобів автоматизації.

7.8.7 Дослідження якості систем регулювання

Кожна АСР (рисунок 7.5) характеризується щонайменше трьома параметрами:

- вихідним y ;
- вхідним, що є завданням u ;
- вхідним, що збурює z .

Якість АСР досліджують шляхом впливу на її вхід одиничної ступінчастої функції. Показники якості АСР можуть визначатися як прямим методом за кривою перехідного процесу (рисунок 7.10), так і іншими методами.

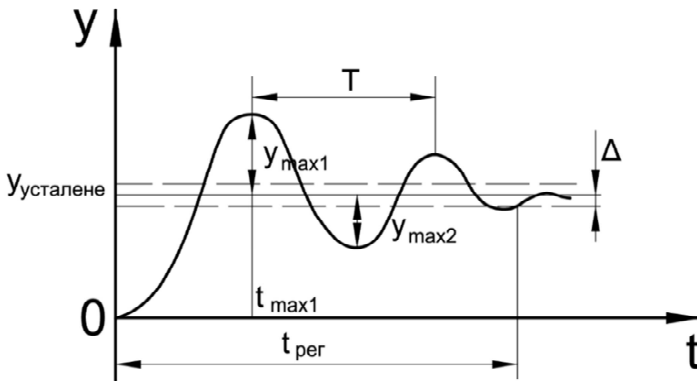


Рисунок 7.10 – Основні показники коливального перехідного процесу АСР

Система регулювання має задовольняти такі основні вимоги:

- з максимально можливою точністю відпрацьовувати керуючий сигнал, тобто вихідний параметр y в статичному режимі роботи має відтворювати завдання u ;
- система має бути легко керованою, тобто похідна (dy/du) має бути достатньо великою в усьому діапазоні зміни завдання u ;
- система не повинна сильно реагувати на збурення z , тобто величина неузгодженості, яку виникає дія збурення, має бути мінімальною;
- система має слабо реагувати на зміну збурення і компенсувати його вплив.

Із наведених вимог випливає, що основними показниками для оцінки перехідних процесів в АСР можуть бути такі:

- максимальне відхилення вихідної координати y у перехідному режимі роботи від усталеного значення;
- час регулювання $t_{\text{рег}}$, тобто час протікання перехідного процесу, протягом якого регульована координата наближається до усталеного значення із заданою точністю

$$|y(t) - y_{\text{усталене}}| \leq \Delta.$$

- частота коливань $\omega = 2 \cdot \pi / T$, де T – період коливань для коливальних перехідних процесів;
- кількість коливань n за час перехідного процесу;
- час досягнення першого максимуму t_{max1} ;

- декремент загасання

$$v = \frac{y_{max1} - y_{усталене}}{y_{max2} - y_{усталене}}.$$

Максимальне відхилення вихідної координати в перехідному режимі роботи АСР від усталеного її значення називається перегулюванням і визначається за формулою:

$$\sigma = \frac{y_{max1} - y_{усталене}}{y_{усталене}} \cdot 100\%.$$

При зміні збурення z перегулювання визначається за формулою

$$\sigma = \frac{\Delta y}{k \cdot \Delta z} \cdot 100\%,$$

де k – коефіцієнт передачі об'єкта за каналом $z \rightarrow y$;
 Δz – зміна збурюючого параметру.

Допустиме значення перегулювання в кожному конкретному випадку визначається вимогами технологічного процесу. Звичайно для більшості хіміко-технологічних процесів $\sigma = 10 \dots 30\%$. Іноді допускається перегулювання до $50 \dots 60\%$, а в деяких випадках перегулювання не допускається зовсім, або воно не повинно перевищувати $1 \dots 3\%$.

У більшості випадків при визначенні часу регулювання $t_{\text{пер}}$ зона навколо усталеного значення не має перевищувати

$$\frac{\Delta}{y_{усталене}} \cdot 100\% \leq 5\%.$$

Для дослідження якості систем регулювання необхідно побудувати криву перехідного процесу загальної системи, яка описується еквівалентною передавальною функцією розробленої багатоконтурної АСР. Далі моделюється подача на її вхід по каналу завдання одиничної східчастої функції (рисунок 7.10).

Далі необхідно розрахувати відповідні показники якості системи регулювання.

7.9 Висновки та рекомендації

У заключній частині необхідно у короткій формі підбити підсумки виконаної роботи та описати отримані результати. Зокрема, вказати:

- що встановлено в результаті виконаного аналітичного огляду та аналізу технологічного процесу як об'єкта керування;
- за допомогою яких параметрів слід керувати процесом;
- що отримано в результаті теоретичних досліджень об'єкта керування;
- яка схема регулювання запропонована для керування об'єктом;
- які результати отримані в результаті теоретичних досліджень АСР;
- інші результати, які доцільно виділити.

8 Підготовка до захисту і порядок захисту курсової роботи

Після виконання та оформлення курсова робота подається керівнику (членам комісії) на перевірку. До захисту допускаються здобувачі вищої освіти, що виконали курсову роботу у повному обсязі. Захист курсової роботи проводиться комісією у складі не менше двох викладачів. Здобувач вищої освіти має підготувати стислу доповідь, в якій чітко та лаконічно викладаються основні положення курсової роботи. Головну увагу слід приділити актуальності теми, основним результатам, висновкам і практичним рекомендаціям. Завершивши виступ, здобувач вищої освіти зобов'язаний стисло і разом з тим вичерпно відповісти на запитання членів комісії. Запитання можуть стосуватися як теми курсової роботи безпосередньо, так і загальних положень у галузі технології пристроїв систем автоматизації, у тому числі для галузі залізничного транспорту. За змістом і стилем доповіді, відповідями на запитання комісія оцінює рівень знань здобувача вищої освіти. Курсова робота оцінюється диференційовано за чотирибальною системою («відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно»), стобальною і міжнародною системою ECTS з урахуванням своєчасності виконання роботи) (етапів), помилок та якості виступу і відповідей на питання.

Оцінювання курсу

За повністю виконані завдання здобувач може отримати визначену кількість балів:

Інструменти і завдання	Кількість балів
Участь у обговоренні	14
Технічні розрахунки	86
Залік	100

Шкала оцінювання здобувачів вищої освіти

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS
90-100	A
82-89	B
74-81	C
64-73	D
60-63	E
35-59	FX
0-34	F

Контрольні запитання

- 1 Визначення вхідних та вихідних параметрів технологічного об'єкта.
- 2 Структурна схема автоматичної системи регулювання.
- 3 Функціональна схема АСК співвідношення потоків з одним регулятором.
- 4 Функціональна схема АСК співвідношення потоків з двома регуляторами.
- 5 Функціональна схема АСК з регулятором співвідношення потоків і коригуючим контуром за третім параметром.
- 6 Функціональна схема АСК співвідношення з трьома регуляторами.
- 7 Керування за принципом «грубо-тонко».
- 8 Функціональна схема АСК ентальпії розчину.
- 9 Функціональна схема АСК співвідношенням дійсних витрат газових потоків.
- 10 Функціональна схема АСК концентрацією.
- 11 Принцип керування за відхиленням.
- 12 Принцип керування за збуренням.
- 13 Комбінований принцип керування.
- 14 Каскадний принцип керування.
- 15 Каскадне-комбінований принцип керування.
- 16 Принцип керування з додатковим імпульсом за похідною.
- 17 Слідкуючий принцип керування.
- 18 Принцип взаємопов'язаного керування.
- 19 Принципи екстремального керування.
- 20 Принцип керування технологічними об'єктами з великим часом чистого запізнення.

Перелік джерел посилання

Основна література

- 1 Стенцель Й.І., Поркуян О.В. Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв : Підручник. Луганськ : вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля, 2010. 300 с.
- 2 Стенцель Й.І. Автоматика та автоматизація хіміко-технологічних процесів : Навч.посібник. Луганськ : вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля, 2004. 376 с.
- 3 І. В. Ельперін, О. М. Пупена, В. М. Сідлецький, С. М. Швед. Автоматизація виробничих процесів : підр. Ліра-К., 2017. 378 с.
- 4 І. С. Єрмеєв, В. Б. Кисельов. Автоматизовані системи управління технологічними процесами : Підр. Олді+, 2022. 324 с.
- 5 В. Г. Трегуб. Проектування систем автоматизації : Підр. Ліра-К., 2019. 344 с.
- 6 Целіщев О.Б., Єлісеєв П.Й., Лорія М.Г., Захаров І.І. Математичні моделі технологічних об'єктів : Підручник. Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту, 2011. 421 с.

Додаткова література

- 1 Турецкий Х. Анализ и синтез систем с запаздыванием. М. : Машиностроение, 1973. 327 с.
- 2 Дудников Е. Г., Балакирев В. С., Кривсунов В. Н, Цирлин А. М. Построение математических моделей химико-технологических объектов. Л. : Химия, 1970. 312 с.
- 3 Шински Ф. Система автоматического управления химико-технологических процессов. М. : Химия, 1974. 330 с.
- 4 Эрриот П. Регулирование производственных процессов. М. : Энергия, 1967. 480 с.
- 5 Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. М. :Химия, 1976. 496 с.
- 6 А. А. Воронов. Теория автоматического регулирования. ч.1-2. М. : Высш.шк., 1986. 871 с.
- 7 Г. Ф. Зайцев. Теория автоматического управления и регулирования. К. : Вища шк., 1988. 431 с.
- 8 Полоцкий Л. М., Лапшенков Г. И. Автоматизация химических производств. Теория и проектирование систем автоматизации. М. : Химия, 1988. 296 с.
- 9 Рей У. Методы управления технологическими процессами. М. : Мир, 1983. 368 с.
- 10 Гуров А. М., Починкин С. М. Автоматизация технологических процессов. М. : Высшая школа, 1979. 355 с.

Додаток А
Бланк завдання на курсову роботу

Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих систем управління

«ЗАТВЕРДЖУЮ»: _____

Зав. кафедри М.Г. Лорія

ЗАВДАННЯ
на курсову роботу з дисципліни
«Автоматизація технологічних процесів і виробництв»

Тема роботи _____

Здобувачу освіти _____
ПІБ

Група _____

Вихідні дані:

Завдання видане _____ Термін виконання _____

Додаток Б
Титульний лист курсової роботи

Міністерство освіти і науки України
Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих систем управління

Факультет інформаційних технологій та електроніки

КУРСОВА РОБОТА

з дисципліни:
«Автоматизація технологічних процесів і виробництва»

на тему:

Виконав студент групи _____

_____ ПІБ

Керівник роботи

_____ ПІБ

Київ 202__

Додаток В

Теми курсових робіт

- 1 Автоматизація випарної установки (кип'ятильника) за температурою випарювання аміачної селітри
- 2 Автоматизація кожухотрубного теплообмінника для нагрівання метанолу
- 3 Автоматизація кожухотрубного конденсатора для конденсації парів етилового спирту
- 4 Автоматизація кожухотрубного кип'ятильника водного розчину оцтової кислоти
- 5 Автоматизація рідинного реактора неперервної дії за концентрацією аміачної селітри
- 6 Автоматизація стадії абсорбції жирного газу установки газофракціонування і стабілізації бензину
- 7 Автоматизація випарної установки за концентрацією карбаміду
- 8 Автоматизація абсорбера за концентрацією оксиду вуглецю у газовій суміші
- 9 Автоматизація трубчатого конвертора метану за температурою конверсії у виробництві аміаку
- 10 Автоматизація випарної установки за рівнем упареного розчину хлористого амонію
- 11 Автоматизація випарного апарату (кип'ятильника) у виробництві аміачної селітри
- 12 Автоматизація теплообмінника стадії утилізації тепла димових газів у виробництві скла
- 13 Автоматизація ректифікаційної колони за температурою метанолу у вичерпній частині
- 14 Автоматизація випарної установки за рівнем упареного розчину карбаміду
- 15 Автоматизація кожухотрубного холодильника для конденсації пари метилового спирту
- 16 Автоматизація абсорбера за концентрацією двооксиду вуглецю в абсорбційному газі виробництва метанолу
- 17 Автоматизація кожухотрубного теплообмінника для нагріву азоту – водневої суміші
- 18 Автоматизація печі за концентрацією кисню у димових газах
- 19 Автоматизація абсорбера за концентрацією оксиду вуглецю у газовій суміші

20 Автоматизація економайзера (Е-132) у відпарюванні процесного конденсату в виробництві аміаку

21 Автоматизація термічного деаератора живильної води у виробництві аміаку

22 Автоматизація стадії піролізу природного газу у виробництві ацетилену

23 Автоматизація кожухотрубного кип'ятильника водного розчину метанолу

24 Автоматизація конвертора за концентрацією оксиду вуглецю у виробництві аміаку

25 Автоматизація теплообмінника для нагріву параметанової суміші

Додаток Г
Передавальні функції стандартних елементів

№ з/п	Найменування	Передавальна функція
1.	Діафрагма	$W(s) = 0.4 \dots 0.9$
2.	Термопара	$W(s) = \frac{0.9}{120 \cdot s + 1}$
3.	Підсилюючий перетворювач	$W(s) = 1.08$
4.	Нормуючий перетворювач	$W(s) = 0.9 \dots 1.0$
5.	Виконавчий механізм	$W(s) = \frac{1}{30 \cdot s + 1}$
6.	Регулюючий орган	$W(s) = 0.95$

Додаток Д
Приклади розрахунків елементів АСР із застосуванням
пакету прикладних програм «Maple»

Перед початком роботи необхідно підключити пакет інтегральних перетворень.

```
with(inttrans);
```

Після підключення пакету на екран виводиться перелік доступних функцій.

```
[addtable, fourier, fouriercos, fouriersin, hankel, hilbert, invfourier,  
invhilbert, invlaplace, invmellin, laplace, mellin, savetable]
```

Приклад 1

Побудова функції відгуку системи (перехідного процесу) на одиничне східчасте збурення.

Задаємо передавальні функції регулятора та об'єкта:

$$W_r = 0.6 + 1/(5*s) + s;$$

$$W_o = 1/(14*s + 1);$$

Задаємо передавальну функцію системи:

$$W := W_r * W_o / (W_o * W_r + 1);$$

Робимо спрощення одержаної функції, вона переводиться до форми дроби двох поліномів:

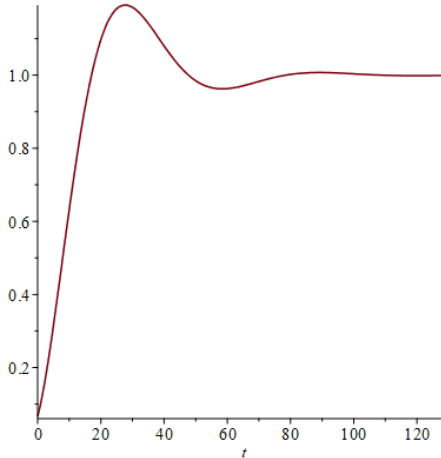
$$W_s := \text{simplify}(W);$$

Задаємо збурення у вигляді східчастого збурення ($1/s$) та робимо зворотнє перетворення Лапласа для переходу з частотної у часову область:

```
Wt:=invlaplace(Ws/s,s,t);
```

Друкуємо отриманий графік:

```
plot(Wt, t=0..130);
```



Приклад 2

Розрахунок частотних характеристик динамічної ланки.

Задається передавальна функція.

Після цього робиться заміна оператора Лапласа (s) на оператор Фур'є ($I * v$) за допомогою оператора *subs*,

де I – уявна одиниця (обов'язково велика латинська літера);

v – частота.

Для подальших розрахунків необхідно задати значення всіх коефіцієнтів та постійних часу.

Дійсна частотна характеристика знаходиться командою $\text{Re}(w)$ – обов'язково з великої латинської літери.

Уявна частотна характеристика знаходиться командою $\text{Im}(w)$ – обов'язково з великої латинської літери.

Амплітудна частотна характеристика знаходиться командою

$$A=(\text{Re}(w)^2+\text{Im}(w)^2)^{0.5}.$$

Фазова частотна характеристика знаходиться командою
 $z=\arctan(\text{Im}(w)/\text{Re}(w)).$

Текст програми

```

with(inttrans);

[addtable, fourier, fouriercos, fouriersin, hankel, hilbert, invfourier,
invhilbert, invlaplace, invmellin, laplace, mellin, savetable]

W:=k*exp(-
q*s)*(T5^2*s^2+T4*s+1)/(T3^3*s^3+T2^2*s^2+T1*s+1);

Wv:=subs(s = I*v, W);

W1:=subs(k = 2, T5 = 3, T4 = 1, T3 = 2, T2 = 12, T1 = 25, q = 14,
Wv);

re:=Re(W1);
im:=Im(W1);
A:=(im^2+re^2)^0.5;
z:=arctan(im/re);

# Друк дійсної частотної характеристики
plot(re,v=0..1);

# Друк уявної частотної характеристики
plot(im,v=0..1);

# Друк амплітудної частотної характеристики
plot(A,v=0..1);

# Друк фазової частотної характеристики
plot(z,v=0..1);

```

Додаток Е
Приклади розрахунків елементів АСР із застосуванням пакету
прикладних програм «MatLab»

1) Програма побудови кривої перехідного процесу на ступінчасте збурення, зберігається у файлі «Transition_process.m».

Об'єкт керування – теплообмінник з передавальною функцією

$$\frac{1.194}{115.6 \cdot s^2 + 385.7 \cdot s + 1} \cdot e^{-13.1 \cdot s}$$

Вхідні параметри виділені жовтим кольором.

Крива перехідного процесу зберігається в папці Temp\Назва файлу «Figure_Перехідний_процес.tiff».

Текст файлу «Transition_process.m»

```
Очищення екрану
clc
% Очищення пам'яті
clear
% РОЗРАХУНОК ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ
РОЗІМКНЕНОЇ СИСТЕМИ
%
% Передавальна функція виконавчого механізму
num2=[0.8]; den2=[20 1]; sys2=tf(num2,den2);
% Передавальна функція регулюючого органу
sys3=tf(1.2);
% Передавальна функція об'єкта керування
num4=[1.194]; den4=[115.6 385.7 1]; sys_4=tf(num4,den4);
% Додаємо час запізнення:
% Позначаємо s як оператор Лапласа
s=tf('s');
% Апроксимуємо час запізнення exp(-13.1*s) шляхом
розкладання в рід Паде
% другого порядку
p=pade(exp(-13.1*s),2);
sys4=series(sys_4,p);
% Передатна функція вимірювального перетворювача
(діафрагма камерна)
```

```

sys5=tf(0.4);
% Передатна функція проміжного перетворювача
sys6=tf(1.08);
% Передавальна функція еквівалентного об'єкта керування
sys_eoc=sys2*sys3*sys4*sys5*sys6;
% Розрахунок реакції на східчасте збурення
[y0,T]=step(sys_eoc);

pic = figure;
set(plot(T,y0),'LineWidth',1.5);
axis tight; grid on; zoom on;
title('Реакція об'єкта керування на східчасте збурення');
xlabel('Час [с]'),ylabel('Температура на виході [оС]');
print(pic,'-dtiff','-r600','Temp\Figure_Перехідний_процес.tiff');

```

2) Програма побудови частотних характеристик системи (АЧХ, ФЧХ) зберігається у файлах «Frequency_characteristics.m» та «Array_form.m».

Об'єкт керування – теплообмінник з передавальною функцією

$$\frac{1.194}{115.6 \cdot s^2 + 385.7 \cdot s + 1} \cdot e^{-13.1s}.$$

Вхідні параметри виділені жовтим кольором.

Частотні характеристики процесу зберігається в папці Temp\Назва файлів «Figure_AЧХ.tiff» та «Figure_ФЧХ.tiff».

Алгоритм розрахунку

Підставляючи змінні «Кінцевий частота моделювання (w_final)» та «Крок прирощення частоти при моделюванні (w_incr)» обирається найбільш зручний масштаб графіків. У подальшому за необхідності масштаби графіків можна змінювати.

Спочатку необхідно знайти величину критичної частоти. Для цього у вікні Workspace відкриваємо файл F , що містить розраховані значення фази, та в лівому стовпчику знаходимо номер точки, частота якої (правий стовпчик) відповідає значенню $(-\pi)$. У цій точці функція має розрив, тому можна дивитися, де функція з від'ємної змінюється на додатну. Це точка номер 571, їй відповідає значення фази -3.1395 . Частота для цієї точки є критичною частотою системи.

Далі для знаходження значення критичної частоти системи у вікні Workspace відкриваємо файл Ω , що містить розраховані значення частоти, і в лівому стовпчику заходимо точку 571, якій у правому стовпчику відповідає критичне значення частоти $\omega_{кр} = 0.057$.

Тепер у вікні Workspace відкриваємо файл A , що містить розраховані значення амплітуди, і в лівому стовпчику заходимо точку 571, якій у правому стовпчику відповідає критичне значення амплітуди $A_{кр} = 0.0148$.

Текст файлу «Frequency_characteristics.m»

```
% Очищення екрану
clc
% Очищення пам'яті
clear
```

% ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗІМКНЕНОЇ СИСТЕМИ

```
%  
% Передавальна функція виконавчого механізму  
num2=[0.8]; den2=[20 1]; sys2=tf(num2,den2);  
% Передавальна функція регулюючого органу  
sys3=tf(1.2);  
% Передавальна функція об'єкта керування  
num4=[1.194]; den4=[115.6 385.7 1]; sys_4=tf(num4,den4);  
% Додаємо час запізнення:  
% Позначаємо s як оператор Лапласа  
s=tf('s');  
% Апроксимуємо час запізнення  $\exp(-13.1*s)$  шляхом  
розкладання в рід Паде  
% другого порядку  
p=pade( $\exp(-13.1*s)$ ,2);  
sys4=series(sys_4,p);  
% Передавальна функція вимірювального перетворювача  
(діафрагма камерна)  
sys5=tf(0.4);  
% Передавальна функція проміжного перетворювача  
sys6=tf(1.08);  
% Передавальна функція еквівалентного об'єкта керування  
sys_eoc=sys2*sys3*sys4*sys5*sys6;  
  
% Обчислюємо чисельник та знаменник передавальної функції  
% розімкненої системи з часом запізнення  
[str_num,str_den]=tfdata(sys_eoc,'v');
```

% ОБЧИСЛЕННЯ МАСИВУ ЧАСТОТ

% ОБЧИСЛЕННЯ АЧХ

```
% Кінцева частота моделювання  
w_final=0.07;  
% Крок прирощення частоти при моделюванні  
w_incr=0.0001;  
% Завдання кількості точок в масиві частот  
n_freq=fix(w_final/w_incr)+1;  
% Формування масиву частот  
[Omega]=Array_form(w_incr,n_freq);
```

```
% Обчислення передавальної функції  $W(j\omega)$   
W=freqs(str_num,str_den,Omega);
```

```
% Обчислення АЧХ  
A=abs(W);
```

```
% Друк АЧХ  
pic = figure(1);  
set(plot(Omega,A),'LineWidth',1.5);  
axis tight; grid on; zoom on;  
title('АЧХ еквівалентного об'єкта керування')  
ylabel('Амплітуда'),xlabel('\omega_c [рад/с]');  
print(pic,'-dtiff','-r600','Temp\Figure_АЧХ.tiff');
```

```
% Обчислення ФЧХ  
F=angle(W);
```

```
% Друк ФЧХ  
pic = figure(2);  
set(plot(Omega,F),'LineWidth',1.5);  
axis tight; grid on; zoom on;  
title('ФЧХ еквівалентного об'єкта керування')  
ylabel('Фаза [рад]'),xlabel('\omega_c [рад/с]');  
print(pic,'-dtiff','-r600','Temp\Figure_ФЧХ.tiff');
```

Текст файлу «Array_form.m»

```
function[Omega]=Array_form(w_incr,n_freq);  
  
% Формування вектору частот відповідного розміру  
v_freq=zeros(n_freq,1);  
% Заповнення вектору частот  
w=0;  
for ii=1:1:n_freq;  
    v_freq(ii)=w;  
    w=w+w_incr;  
end;  
% Передача вихідного параметра  
Omega=v_freq;
```

3) Програма для розрахунку максимальної швидкості перехідного процесу системи при зовнішньому збуренні зберігається у файлі «Maximum_speed.m».

Об'єкт керування – теплообмінник з передавальною функцією

$$\frac{1.194}{115.6 \cdot s^2 + 385.7 \cdot s + 1} \cdot e^{-13.1 \cdot s}.$$

Вхідні параметри виділені жовтим кольором.

Крива перехідного процесу зберігається в папці Temp\Назва файлу «Figure_Швидкість_перехідного_процесу.tiff».

Алгоритм розрахунку

Підставляючи змінні «Кінцевий час моделювання (t_final)» та «Крок прирощення часу при моделюванні (t_incr)» обирається найбільш зручний масштаб графіка.

На графіку обирається найбільш ймовірна точка перегинання та фіксується її координата на осі абсцис або ординат (залежно від того, по якій з осей це можна визначити з більшою точністю). Наприклад, це вісь ординат. По графіку приймаємо амплітуду, що відповідає точці перегинання, рівною 0.04. У вікні Workspace відкриваємо вектор зі значеннями амплітуди (вектор y) і знаходимо в другому стовпчику точку, що найбільш близька до цього значення. Це точка 0.0399 (номер 216). Обираємо значення точок номер 215 (0.0395) і номер 217 (0,0402). Таким чином розраховуємо прирощення амплітуди як $\Delta A = 0.0402 - 0.0395 = 0.0007$.

Аналогічно обчислюємо прирощення часу. Для цього у вікні Workspace відкриваємо вектор часу v_time та знаходимо значення часу для точок 215 і 217, відповідно 64.2 [с] і 64.8 [с]. Прирощення буде складати $\Delta t = 0.6$ [с].

Обчислюємо максимальну швидкість зміни параметру

$$v_{max} = \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{0.0007}{0.6} = 0.0012 \text{ [с}^{-1}\text{]}.$$

Текст файлу «Maximum_speed.m»

```
% Очищення екрану
clc
% Очищення пам'яті
clear
```

```

% Перехідний процес теплообмінника
%
% Передавальна функція виконавчого механізму
num2=[0.8]; den2=[20 1]; sys2=tf(num2,den2);
% Передавальна функція регулюючого органу
sys3=tf(1.2);
% Передатна функція об'єкта керування
num4=[1.194]; den4=[115.6 385.7 1]; sys_4=tf(num4,den4);
% Додаємо час запізнення:
% Позначаємо s як оператор Лапласа
s=tf('s');
% Апроксимуємо час запізнення exp(-13.1*s) шляхом
розкладання в
% ряд Паде другого порядку
p=rade(exp(-13.1*s),2);
sys4=series(sys_4,p);
% Передатна функція вимірювального перетворювача
(діафрагма камерна)
sys5=tf(0.4);
% Передатна функція проміжного перетворювача
sys6=tf(1.08);
% Передавальна функція еквівалентного об'єкта керування
sys_eoc=sys2*sys3*sys4*sys5*sys6;
% Розрахунок реакції на східчасте збурення

% ОБЧИСЛЕННЯ КРИВОЇ ПЕРЕХІДНОГО ПРОЦЕСУ
% Кінцевий час моделювання [с]
t_final=150;
% Крок прирощення часу при моделюванні [с]
t_incr=0.3;
% Обчислення кількості точок в масиві часу
n_t=fix(t_final/t_incr)+1;
% Формування вектору часу відповідного розміру
v_time=zeros(n_t,1);

% Заповнення вектору часу
t=0;
for ii=1:1:n_t;
    v_time(ii)=t;
    t=t+t_incr;
end;

```

```
% Обчислення перехідного процесу
y=step(sys_eos,v_time);

% Друк перехідного процесу
pic = figure;
set(plot(v_time,y),'LineWidth',1.5);
axis tight; grid on; zoom on;
title('Реакція об'єкта керування на східчасте збурення');
xlabel('Час [с]'),ylabel('Амплітуда');
print(pic,'-dtiff','-
r600','Temp\Figure_Швидкість_перехідного_процесу.tiff');
```

4) Програма для розрахунку основних показників оцінки якості роботи АСР витрат пари на вході парового економайзера Е-132 зберігається у файлі «Quality_indicators.m».

Об'єкт керування – теплообмінник з передавальною функцією

$$\frac{1.194}{115.6 \cdot s^2 + 385.7 \cdot s + 1} \cdot e^{-13.1 \cdot s}$$

Вхідні параметри виділені жовтим кольором.

Крива перехідного процесу зберігається в папці Temp\Назва файлу «Figure_Показники якості АСР.tiff».

Алгоритм розрахунку

На першому кроці необхідно ввести дані для моделі об'єкта регулювання (передавальної функції) та настроювальні параметри регулятора, що були отримані раніше.

Оскільки оцінки якості АСР отримуються з результатів моделювання її роботи, на першому етапі роботи програми будується пряма, що відповідає завданню на вході системи, та крива перехідного процесу.

Далі обраховуються такі показники якості системи:

Назва показника якості	Ідентифікатор показника якості	Формула розрахунку	Результат обчислення
Абсолютна усталена помилка	fixed_error	$ Y_{усталене} - Y_{завдання} $	0.0193
Відносна усталена помилка	relative_fixed_error	$\frac{ Y_{усталене} - Y_{завдання} }{Y_{завдання}} \cdot 100\%$	1.9334%
Час регулювання	T_transition_process	Момент часу, після якого всі значення відносної величини температури на виході економайзера відхиляються від	49.4798 [с]

Назва показника якості	Ідентифікатор показника якості	Формула розрахунку	Результат обчислення
		усталеного значення не більше, ніж на 5%	
Абсолютне значення перерегулювання	delta	$ Y_{1 \max} - Y_{\text{усталене}} $	0.0728
Відносне значення перерегулювання	sigma	$\frac{ Y_{1 \max} - Y_{\text{усталене}} }{Y_{\text{усталене}}} \cdot 100\%$	7.4198%

Текст файлу «Quality_indicators.m»

```
% Очищення екрану
clear
% Очищення пам'яті
clear
```

% РОЗРАХУНОК ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ СИСТЕМИ ЗІ ЗВОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

```
%
% Передавальна функція регулятора
s=tf('s');
Kkp=67.57; Wkp=0.057;

% ПД-регулятор
K=0.0235*Kkp; Td=0.47*Kkp/Wkp;
Contr=K+Td*s;

sys1=tf(Contr);

% Передавальна функція виконавчого механізму
num2=[0.8]; den2=[20 1]; sys2=tf(num2,den2);
% Передавальна функція регулюючого органу
sys3=tf(1.2);
% Передатна функція об'єкта керування
num4=[1.194]; den4=[115.6 385.7 1]; sys_4=tf(num4,den4);
```

```

% Додаємо час запізнення:
% Позначаємо s як оператор Лапласа
s=tf('s');
% Апроксимуємо час запізнення exp(-13.1*s) шляхом
розкладання в рід Паде
% другого порядку
p=pade(exp(-13.1*s),2);
sys4=series(sys_4,p);
% Передатна функція вимірювального перетворювача
(діафрагма камерна)
sys5=tf(0.4);
% Передатна функція проміжного перетворювача
sys6=tf(1.08);
% Чисельник передавальної функції АСР
sys_num=sys1*sys2*sys3*sys4;
% Знаменник передавальної функції АСР
sys_den=sys5*sys6;
% Передатна функція АСР зі зворотним зв'язком
sys_feedback=feedback(sys_num,sys_den);

% РОЗРАХУНОК РЕАКЦІЇ НА СХІДЧАСТЕ ЗБУРЕННЯ
[y0,T]=step(sys_feedback);

% Знаходимо усталене значення (останнє значення у
перехідному процесі)
y_end=y0(end);

% Завдання (вхід)
task=1;

% ОБЧИСЛЕННЯ ВЕЛИЧИНИ УСТАЛЕНОЇ ПОМИЛКИ У %
% Обчислення абсолютного значення усталеної помилки
fixed_error=abs(task-y_end);
% Відносне значення усталеної помилки в %
relative_fixed_error=fixed_error*100/task

% Координати точки на графіку
x_fixed_error=T(end);
y_fixed_error=y_end;

```

```

% ОБЧИСЛЕННЯ МАКСИМАЛЬНОГО ПЕРЕРЕГУЛЮВАННЯ
У %
% Обчислення максимального відхилення від усталеного
значення
delta=max(y0-y_end)
% Обчислення максимального перерегулювання у відсотках
sigma=delta*100/abs(y_end)

% Координати точки на графіку
y_sigma=max(y0);
ii=find(y0==y_sigma);
x_sigma=T(ii);

% ОБЧИСЛЕННЯ ЧАСУ РЕГУЛЮВАННЯ У СЕКУНДАХ
% У масив ii записуються номери усіх елементів, відхилення
яких від усталеного
% значення більше 0.05 (для визначення часу перехідного
процесу використовується
% відхилення 5%)
ii=find((y0-y_end)/abs(y_end)>0.05);

% Обчислюємо час перехідного процесу як перший елемент
масиву T,
% після якого усі елементи масиву y0 відхиляються від
усталеного значення
% не більше, ніж на 5%
% Координати точки на графіку
T_transition_process=T(max(ii)+1)
y_transition_process=y0(max(ii)+1);

pic = figure;
set(plot(T,y0),'LineWidth',1.5);
set(gca,'FontSize',16);
axis tight; grid on; zoom on;
title('Реакція об'єкта керування на східчає збурення');
xlabel('Час [с]'),ylabel('Відносна величина температури на
виході');

hold on;
% ЛІНІЯ ЗАВДАННЯ
t_end=floor(T(end));

```

```

t=linspace(0,t_end)';
[ii,jj]=size(t);
y=task*ones(ii,1);
line(t,y,'Color','magenta','LineStyle','--');

% Точки усталеної помилки
x_f_e=[x_fixed_error x_fixed_error];
y_f_e=[y_fixed_error task];
scatter(x_f_e,y_f_e,'filled');

% Точка часу регулювання
scatter(T_transition_process,y_transition_process,'filled');

% Точка максимального перерегулювання
scatter(x_sigma,y_sigma,'filled');

legend({'Перехідний процес','Завдання','Усталена похибка',...
'Час перехідного процесу','Максимальне
перерегулювання'},'Location','southeast');

print(pic,'-dtiff','-r600','Temp\Figure_Показники якості АСР.tiff');

```

Додаток Ж
Приклад виконання основних розділів курсової роботи

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка – ___ стор., ___ рисунків, ___ таблиць, ___ джерел.

ВИРОБНИЦТВО АМІАКУ, ЕКОНОМАЙЗЕР,
ВИМІРЮВАННЯ, ТЕМПЕРАТУРА, ВИТРАТИ, РІВЕНЬ, МЕТОД
ЗМІННОГО ПЕРЕПАДУ ТИСКУ, ДІАФРАГМА, ФУНКЦІОНАЛЬНА
СХЕМА, СТРУКТУРНА СХЕМА, АСР, ЧАСТОТНІ
ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС, ПОКАЗНИКИ
ЯКОСТІ.

Об'єктом дослідження є стадія піролізу природного газу у виробництві ацетилену.

Метою курсової роботи є розробка автоматичної системи регулювання та контролю стадії піролізу природного газу у виробництві ацетилену, що забезпечує дотримання вимог технологічного регламенту.

Метод дослідження – теоретичний із застосуванням ЕОМ.

У процесі роботи виконано аналіз економайзера у виробництві аміаку як об'єкта керування. Розроблено математичну модель економайзера у вигляді передавальної функції. Розроблено структурну схему одноконтурної АСР. Побудовано частотні характеристики АСР, розраховано та оптимізовано налаштування регулятора. Обраховано прямі показники для визначення якості роботи АСР. Розроблено функціональну схему автоматизації економайзера.

Зміст

РЕФЕРАТ	93
СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	95
ВСТУП.....	96
1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	97
2. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	98
3. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	100
4. АПАРАТУРНЕ ОФОРМЛЕННЯ ПРОЦЕСУ	103
5. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ, ЯКІ ПІДЛЯГАЮТЬ АВТОМАТИЧНОМУ КОНТРОЛЮ, СТАБІЛІЗАЦІЇ, СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА БЛОКУВАННЮ.....	105
6. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	109
7. СИНТЕЗ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ	116
8. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	124
9. РОЗРАХУНОК АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ	139
10. РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНИХ НАЛАГОДЖЕНЬ РЕГУЛЯТОРА	141
11. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ СИНТЕЗОВАНОЇ АСР	149
ВИСНОВОК	154
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	155

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСКТП – автоматизована система керування технологічним процесом;

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика;

ВП – вторинний прилад;

ДЧХ – дійсна частотна характеристика;

ИМ – виконавчий механізм;

МЧХ – мніма частотна характеристика;

НП – нормувальний перетворювач;

ОР – об'єкт регулювання;

ПІП – первинний вимірювальний перетворювач;

ПП – проміжний перетворювач;

Р – регулятор;

РО – регулюючий орган;

САР – система автоматичного регулювання;

ФЧХ – фазова частотна характеристика.

ВСТУП

У вступі коротко наводять інформацію про технології розроблення пристроїв систем автоматизації, та обґрунтовують актуальність теми курсової роботи.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Дати аналіз сучасного стану питань, що викладаються в роботі шляхом опрацювання патентної та науково-технічної літератури.

Особливу увагу слід приділити математичному моделюванню технологічних процесів, сучасним засобам контролю та регулювання, застосуванню обчислювальної та мікропроцесорної техніки, методам розрахунку складних АСР, а також питанням оптимізації. Наприкінці розділу необхідно дати загальний аналіз проблеми, що розглядається.

2 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Економайзер Е-132 відіграє важливу роль у відпарюванні процесного конденсату у виробництві аміаку, забезпечуючи ефективну утилізацію тепла для нагрівання водяного конденсату та його повторне використання в технологічних процесах. Ця стадія є частиною широкого комплексу операцій з виробництва аміаку, де економія енергоресурсів має критичне значення для зниження витрат та підвищення загальної ефективності процесу.

Основні етапи технологічного процесу

1. Збір і транспортування процесного конденсату: Процесний конденсат, який утворюється в ході виробництва аміаку, збирається і подається до системи відпарювання. Цей конденсат має значний тепловий потенціал, який доцільно використовувати для підігріву рідини в економайзері.

2. Підготовка до відпарювання: Конденсат потрапляє до економайзера, де відбувається його попередній нагрів. Економайзер Е-132 використовує залишкове тепло від інших етапів виробництва для ефективного прогрівання конденсату, забезпечуючи оптимальні температурні умови перед подальшою переробкою.

3. Відпарювання конденсату: У системі економайзера здійснюється відпарювання водяного конденсату за допомогою тепла, що виділяється від процесу виробництва аміаку. Під впливом теплової енергії вода перетворюється на пару, яка може використовуватися повторно або спрямовується для утилізації.

4. Охолодження та відведення залишкового конденсату: Після відпарювання залишковий конденсат охолоджується і відводиться з системи для подальшої утилізації чи використання. Завдяки

економайзеру теплові втрати мінімізуються, а ресурс використовується більш раціонально.

Особливості автоматизації процесу

Автоматизація процесу відпарювання за допомогою економайзера Е-132 включає впровадження систем автоматичного контролю та регулювання, що дозволяє постійно контролювати параметри, такі як температура, тиск, рівень рідини та продуктивність системи. Сучасні автоматизовані системи можуть включати:

- Моніторинг і контроль температури та тиску: Використання датчиків та регуляторів для підтримки оптимальних параметрів, що сприяє стабільності процесу та мінімізує ризик перегріву чи перевантаження обладнання.

- Систему зворотного зв'язку: Завдяки використанню ПЛК (програмованих логічних контролерів), інформація про стан процесу відпарювання передається у центральну систему керування, що дозволяє оперативно реагувати на відхилення і вносити корективи в роботу обладнання.

Переваги автоматизації економайзера у виробництві аміаку

Впровадження автоматизованої системи для економайзера Е-132 дає такі переваги:

- Зменшення теплових втрат, що знижує загальне споживання енергії у виробництві аміаку.

- Забезпечення стабільної роботи обладнання завдяки точному контролю технологічних параметрів.

- Мінімізація людського фактору і підвищення безпеки технологічного процесу.

Примітка. Інформацію, що стосується даного розділу, слід шукати в Інтернеті.

3 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Технологічний процес автоматизації економайзера E-132 у відпарюванні процесного конденсату в виробництві аміаку спрямований на максимальне використання теплової енергії для підвищення ефективності виробництва та зниження енергетичних витрат. Економайзер використовується для попереднього нагрівання водяного конденсату перед його надходженням на подальші етапи обробки, що дозволяє зменшити споживання пари й забезпечити рециркуляцію тепла в системі.

1. Вхідний потік процесного конденсату

Процесний конденсат, що утворюється на попередніх етапах виробництва аміаку, накопичується у спеціальному резервуарі або накопичувачі. Цей конденсат, насичений теплом, транспортується насосами до економайзера E-132, де здійснюється його попереднє нагрівання. Температура і тиск конденсату постійно контролюються для підтримання стабільності параметрів процесу.

2. Попередній нагрів у економайзері E-132

Економайзер E-132 призначений для утилізації теплової енергії, що надходить з процесного конденсату. За рахунок залишкового тепла конденсат нагрівається до оптимальної температури, необхідної для відпарювання. Процес нагріву контролюється датчиками температури і тиску, що підключені до системи автоматизації. Автоматизована система підтримує заданий рівень температури шляхом регулювання об'єму теплоносія, що циркулює в економайзері.

3. Процес відпарювання конденсату

На цьому етапі нагрітий у економайзері конденсат переходить у секцію відпарювання, де під дією тепла відбувається його

випаровування. У процесі відпарювання відбувається виділення парів, які містять залишки домішок і летких компонентів, що можуть бути утилізовані або спрямовані на інші стадії виробництва для подальшої обробки чи зниження забруднення. Процес відпарювання автоматично контролюється шляхом регулювання подачі тепла в залежності від тиску і температури у відпарювальній камері.

4. Збір і рециркуляція теплової енергії

Виділена під час відпарювання пара може бути використана для підігріву інших частин системи або повернута для додаткового обігріву конденсату на початкових етапах. Це забезпечує економію енергоресурсів, оскільки зменшується потреба у додатковій парі для нагрівання рідини. Датчики контролю тиску та температури в системі рециркуляції пара забезпечують оптимальне використання теплової енергії.

5. Автоматизована система керування процесом

Автоматизація процесу відпарювання конденсату в економайзері E-132 виконується за допомогою програмованих логічних контролерів (ПЛК), які взаємодіють з датчиками температури, тиску і рівня. Система керування забезпечує:

- Контроль температури і тиску у всіх точках процесу, щоб уникнути перегріву і підтримувати параметри в оптимальних межах.
- Регулювання подачі конденсату до економайзера відповідно до обсягу необхідної енергії, що дозволяє уникнути втрат тепла та знизити витрати пари.

6. Охолодження та відведення залишкового конденсату

Після відпарювання залишковий конденсат проходить етап охолодження. Охолоджений конденсат відводиться з економайзера і може бути повторно використаний у виробничому процесі або

відведений на подальшу обробку. Автоматична система контролю забезпечує підтримання заданого рівня рідини в резервуарі для забезпечення безперервного циклу рециркуляції тепла.

Переваги автоматизації економайзера E-132

Автоматизація процесу дозволяє підвищити ефективність виробництва аміаку завдяки:

– Оптимізації використання теплової енергії: автоматизація дозволяє знизити витрати на обігрів, підвищити продуктивність і зменшити теплові втрати.

– Мінімізації впливу людського фактору: автоматизована система знижує ризики помилок та забезпечує стабільність технологічного процесу.

– Підвищенню екологічної безпеки: завдяки ефективному відпарюванню та рециркуляції конденсату зменшується обсяг відходів і споживання енергії.

Примітка. Інформацію, що стосується даного розділу, слід шукати в Інтернеті.

4 АПАРАТУРНЕ ОФОРМЛЕННЯ ПРОЦЕСУ

Характеристика технологічного обладнання процесу відпарювання процесного конденсату представлена у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристика технологічного обладнання

№ об'єкта	Найменування об'єкта керування	Характеристика
1	Паровий економайзер Е-132	<p>Апарат кожухотрубний Діаметр $D_H = 500$ [мм] Довжина трубок $l = 3000$ [мм] Поверхня трубок $S_{Tr} = 41.7$ [м²] Умови в апараті: Міжтрубний простір: Тиск: $P_{РОБ} = 4.0$ [МПа], $P_{РОЗР} = 4.8$ [МПа] Температура: $T_{РОБ ВХ} = 380$ [°C], $T_{РОБ ВИХ} = 300$ [°C], $T_{РОЗР} = 440$ [°C] Середа: пара Трубний простір: Тиск: $P_{РОБ} = 3.8$ [МПа], $P_{РОЗР} = 4.3$ [МПа] Температура: $T_{РОБ ВХ} = 240$ [°C], $T_{РОБ ВИХ} = 320$ [°C], $T_{РОЗР} = 440$ [°C] Середа: відпарний газ Матеріал: 12Х18Н10Т, 20Х13</p>
2	Колона відпарювання процесного конденсату С-131	<p>Діаметр $D_{ВН} = 1600$ [мм] Висота $H_{ЗАГАЛ} = 19700$ [мм] Умови в апараті: Тиск: $P_{РОБ} = 3.8$ [МПа], $P_{РОЗР} = 4.8$ [МПа] Температура: $T_{РОБ} = 250$ [°C], $T_{РОЗР} = 440$ [°C] Середа: процесний конденсат, пара Матеріал: 12Х18Н10Т, 20Х13</p>

№ об'єкта	Найменування об'єкта керування	Характеристика
3	Підігрівач процесного конденсату Е-131 А,В,С	<p>Блок кожухотрубних апаратів</p> <p>Діаметр $D_{ВН} = 1000$ [мм]</p> <p>Довжина трубок = 8000 [мм]</p> <p>Поверхня трубок $S_{ТР ЗАГАЛ} = 1764$ [м²]</p> <p>Поверхня трубок $S_{ТР} = 588$ [м²]</p> <p>Умови в апараті: Міжтрубний простір:</p> <p>Тиск: $P_{РОБ} = 3.8$ [МПа], $P_{РОЗР} = 4.8$ [МПа]</p> <p>Температура: $T_{РОБ ВХ} = 250$ [°C], $T_{РОБ ВИХ} = 110$ [°C], $T_{РОЗР} = 270$ [°C]</p> <p>Середа: очищений процесний конденсат</p> <p>Трубний простір:</p> <p>Тиск: $P_{РОБ} = 4.0$ [МПа], $P_{РОЗР} = 5.5$ [МПа]</p> <p>Температура: $T_{РОБ ВХ} = 0$ [°C], $T_{РОБ ВИХ} = 30$ [°C], $T_{РОЗР} = 70$ [°C]</p> <p>Середовище: процесний конденсат</p> <p>Матеріал: 12Х18Н10Т</p>

Примітка. Інформацію, що стосується даного розділу, слід шукати в Інтернеті.

5 ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ, ЯКІ ПІДЛЯГАЮТЬ АВТОМАТИЧНОМУ КОНТРОЛЮ, СТАБІЛІЗАЦІЇ, СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА БЛОКУВАННЮ

Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування зводиться до визначення технологічних параметрів, які необхідно контролювати та стабілізувати для підтримання нормального режиму технологічного процесу. Крім того, виконується аналіз нормального режиму технологічного процесу з метою контролю технологічних параметрів, що забезпечують безпеку ведення технологічного процесу та захист довкілля від шкідливих викидів.

Для забезпечення нормального режиму технологічного процесу відпарювання процесного конденсату необхідно контролювати такі технологічні параметри:

- температуру пари на вході парового економайзера E-132;
- тиск пари на вході парового економайзера E-132;
- витрату відпарного газу на виході парового економайзера E-132;
- температуру відпарного газу на виході парового економайзера E-132;
- температуру пари на вході колони відпарювання процесного конденсату C-131;
- тиск пари на вході колони відпарювання процесного конденсату C-131;
- тиск відпарного газу на виході колони відпарювання процесного конденсату C-131;
- температуру відпарного газу на виході колони відпарювання процесного конденсату C-131;

- температуру процесного конденсату на вході колони відпарювання процесного конденсату С-131;
- температуру процесного конденсату в кубі колони відпарювання процесного конденсату С-131;
- перепад тиску в колоні відпарювання процесного конденсату С-131;
- температуру процесного конденсату на вході підігрівача процесного конденсату Е-131А,В,С.

Стабілізації підлягають такі технологічні параметри:

- витрата пари на вході парового економайзера Е-132;
- рівень процесного конденсату в кубі колони відпарювання процесного конденсату С-131.

Для забезпечення безпеки ведення технологічного процесу рівень процесного конденсату в кубі колони відпарювання процесного конденсату С-131 необхідно підтримувати в межах припустимого відхилення від встановленого регламентного номінального значення. У разі не виконання цієї вимоги передбачена попереджувальна сигналізація даного технологічного параметра для оповіщення оператора. Також передбачено захисне блокування за мінімальним значенням даного технологічного параметра, закривається відсічний клапан.

Регламентні номінальні значення технологічних параметрів процесу відпарювання процесного конденсату представлені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Регламентні номінальні значення технологічних параметрів

№ об'єкта	Найменування об'єкта керування	Найменування технологічного параметра	Значення параметра	
			номінальна	допустиме відхилення
1	Паровий економайзер Е-132	витрата пари на вході	30 [т/г]	±5 [т/г]
		температура пари на вході	380 [°C]	±5 [°C]
		тиск пари на вході	4.0 [КПа]	±0.05 [КПа]
		витрати відпарного газу на виході	30 [т/г]	±5 [т/г]
		температура відпарного газу на виході	320 [°C]	±5 [°C]
2	Колона відпарювання процесного конденсату С-131	температура пари на вході	300 [°C]	±5 [°C]
		тиск пари на вході	3.8 [КПа]	±0.1 [КПа]
		тиск відпарного газу на виході	3.8 [КПа]	±0.05 МПа [КПа]
		температура відпарного газу на виході	240 [°C]	±5 [°C]
		температура процесного конденсату на вході	230 [°C]	±5 [°C]
		температура процесного конденсату в кубі	250 [°C]	±5 [°C]
		колону відпарювання процесного конденсату	16 [КПа]	±1.0 [КПа]

№ об'єкта	Найменування об'єкта керування	Найменування технологічного параметра	Значення параметра	
			номінальна	допустиме відхилення
		рівень процесного конденсату в кубі	2510 мм від днища (70%)	±150 мм від днища (±10 %)
		рівень процесного конденсату в кубі	мм від днища	
3	Підігрівач процесного конденсату Е-131 А, В, С	температура процесного конденсату на вході	90 [°C]	±5 [°C]

Примітка. Інформацію, що стосується даного розділу, слід шукати в Інтернеті.

6 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Потужність виробництва аміаку складає 547500 [т/рік] за добової продуктивності 1500 [т] аміаку. Годинне вироблення рідкого аміаку – 62.5 [т/г]. Сировиною служить природний газ.

Виробництво аміаку виконано в одну технологічну лінію із застосуванням прогресивної технології та обладнання та складається з наступних основних стадій:

- прийом, редукування, підготовка та стиснення природного газу від тиску 1.8...2.1 [МПа] (ізб.) до тиску не більше 4.4 [МПа] (ізб.) відцентровим компресором з паровою турбіною;

- очищення природного газу від сірчистих сполук у два ступені: гідрування органічних сірчистих сполук та поглинання сірководню;

- парова каталітична конверсія природного газу в трубчастій печі (первинний риформінг) з використанням відпарного газу з колони відпарювання процесного конденсату під тиском;

- пароповітряна каталітична конверсія залишкового метану у шахтному конверторі (вторинний риформінг);

- двоступінчаста конверсія оксиду вуглецю: середньотемпературна (СТК) та низькотемпературна (НТК);

- очищення конвертованого газу від CO_2 водним розчином метилдіетаноламіну (МДЕА);

- глибоке каталітичне очищення газу від залишкового вмісту CO та CO_2 шляхом гідрування їх у метан (метанування);

- стиснення азотоводородної суміші відцентровим компресором з парової турбіною до тиску трохи більше 26.8 [МПа] і подача їх у цикл синтезу;

- синтез аміаку за циркуляційною схемою під тиском не більше 26.2 [МПа] з конденсацією та виділенням рідкого аміаку в два ступені;
- відпарювання процесного конденсату від розчинених газів та органічних домішок під тиском 4.0 [МПа] (хатів) з використанням відпарного газу на технологічний процес конверсії природного газу та очищеного конденсату для приготування демінералізованої води.

До складу технологічної схеми входять також допоміжні стадії та установки:

- термічна деаерація та корекційна обробка поживної води для котлів-утилізаторів;
- система циркуляційного азоту з азотодувкою для розігріву, охолодження та відновлення каталізаторів;
- встановлення конденсації відпрацьованої пари після турбін (вакуумна витяжка);
- компресія та осушка повітря КВП;
- встановлення прийому, приготування та зберігання розчину МДЕА, з дозуванням антиспіювача;
- маслопункт;
- встановлення автоматичного пожежогасіння;
- стадія приготування теплофікаційної води для супутникового обігріву трубопроводів, імпульсних ліній та шаф КВП, збирання конденсату.

Контроль та керування технологічним процесом здійснюється з центрального пункту керування (ЦПУ) зі станцією керування розподіленою системою керування (PCY), реалізованою на мікропроцесорних контролерах.

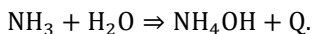
Кінцевим продуктом виробництва є синтетичний аміак. Хімічна формула – NH_3 . Відносна молекулярна маса – 17 [г/моль].

Побічним продуктом виробництва аміаку є вуглекислий газ (діоксид вуглецю), що використовується для виробництва карбаміду.

Рідкий аміак (NH_3) – прозора безбарвна рідина з різким запахом. При температурі мінус 78 [°C] твердне у вигляді кристалів кубічної форми. Щільність рідкого аміаку – 681.4 [кг/м³].

Критична температура аміаку дорівнює 132.4 [°C], критичний тиск – 11.32 [МПа].

Аміак добре розчиняється у воді, утворюючи гідрат окису амонію:



Водний аміак – безбарвна прозора рідина із різким запахом. Температура самозаймання в суміші з повітрям 650 [°C]. Межа вибуховості повітряної суміші з аміаком при 20 [°C] та атмосферному тиску в об'ємних частках: нижній – 15 %, верхній – 28 %.

Газоподібний аміак – безбарвний газ із різким специфічним запахом.

Аміак має токсичні властивості. Попадання аміаку в організм викликає запаморочення, нудоту, тобто легке отруєння, у великих кількостях викликає задуху та набряк легень. Попадання рідкого аміаку на шкіру спричиняє сильні опіки.

Гранично допустима масова концентрація аміаку у робочому приміщенні – 14 [мг/м³].

Синтетичний аміак є сировиною для одержання: азотної кислоти, аміачної селітри, карбаміду та інших продуктів хімічної промисловості, що містять азот.

Крім того, аміак застосовується у медицині, холодильній техніці та інших галузях промисловості.

Процеси риформінгу та конверсії оксиду вуглецю CO ведуться з надлишковим співвідношенням пар: газ проти стехіометричного, в результаті чого при охолодженні конвертованого газу виділяється процесний конденсат.

Процесний конденсат являє собою паровий конденсат, що містить у своєму складі розчинені гази (H_2, CO, CO_2, CH_4), легколеткі компоненти, такі як аміак, а також органічні сполуки, такі як метанол, метиламін, диметиламін тощо.

З метою запобігання утворенню скидів, що мають місце у традиційних схемах відпарювання процесного конденсату без тиску при скиданні відпарного газу в атмосферу або при його спалюванні процес відпарювання процесного конденсату передбачається під тиском процесу конверсії, що дозволяє передати десорбовані домішки разом з парою на конверсію і одночасно отримати високу якість очищеного конденсату.

Відпарювання процесного конденсату передбачено в колоні відпарювання С-131 під тиском 3.8 [МПа] з метою використання відпарного газу на технологічний процес конверсії природного газу в трубочастій печі та покращення якості очищеного конденсату.

При нормальній роботі виробництва аміаку процесний конденсат подається в колону відпарювання процесного конденсату С-131.

Спочатку процесний конденсат з температурою 90 [°C] подається в підігрівач процесного конденсату Е-131А, В, С, в якому підігрівається до 230 [°C] за рахунок тепла очищеного конденсату, що надходить з нижньої частини колони С-131 у підігрівач. Потім з підігрівача

процесний конденсат надходить у верхню частину колони відпарювання С-131.

Очищення процесного конденсату здійснюється в колоні відпарювання С-131 тарілчастого типу за допомогою відпарювання «гострою» парою середнього тиску 3.8 [МПа]. Подача «гострої» пари з температурою 300 [°С] дозволяє досягти глибшого очищення процесного конденсату. На тарілках відбувається тепломасообмін між конденсатом, що йде зверху колони, і паром, що надходить протитечею з нижньої частини колони. В результаті тепломасообміну домішки переходять у газову фазу. Відпарний газ з температурою 240 [°С] і тиском 3.8 [МПа] збирається у верхній частині колони відпарювання і виводиться в паровий економайзер Е-132, де за рахунок теплообміну з «гострою» паром з температурою 380 [°С] та тиском 4.0 [МПа] відбувається перегрів відпарного газу до температури 380 [°С]. Витрата «гострої» пари 30 [т/г] на вході парового економайзера Е-132 стабілізується регулюючим клапаном.

Відпарний газ, що містить пари води, вуглекислоту, аміак та сліди органічних речовин, у кількості 30 [т/г] подається на змішування з природним газом і змішується з рештою технологічної пари.

Очищений конденсат надходить у кубову частину колони відпарювання і виводиться з неї з температурою 250 [°С] підігрівач процесного конденсату Е-131А,В,С, де охолоджується до температури 110 [°С] процесним конденсатом, що подається на очищення в колону відпарювання.

Рівень процесного конденсату в кубі колони відпарювання стабілізується регулюючим клапаном, розташованим на лінії видачі конденсату очищеного на ХВП. За низьким рівнем процесного конденсату в кубі колони відпарювання передбачено захисне

блокування, закривається відсічний клапан з метою запобігання прориву пари по лінії видачі очищеного конденсату.

Під керуванням розуміються дії, створені задля підтримки чи поліпшення функціонування об'єкта керування.

До об'єкта керування надходять збурюючі впливи, що призводять до відхилення вихідних параметрів об'єкта, що характеризують виконання мети керування.

Об'єктом керування називається динамічна система, характеристики якої змінюються під впливом впливів, що збурюють і управляють.

Теплообмінник – це апарат, в якому відбувається теплообмін між гріючим і нагрівається середовищем.

На рис. 6.1. наведено схему кожухотрубного теплообмінника.

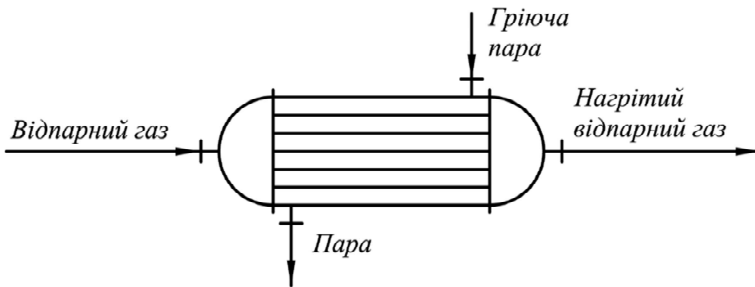


Рисунок 6.1 – Схема кожухотрубного теплообмінника

Вхідні параметри:

– F_T – масова витрата теплоносія (пара) на вході в теплообмінник, [кг/с].

Збурюючі параметри:

– F_{BG} – масова витрата відпарного газу на вході в теплообмінник, [кг/с];

– T_{BG} – температура відпарного газу на вході в теплообмінник, [°C].

Вихідні параметри:

– T'_{BG} – температура відпарного газу на виході з теплообмінника, [°C].

Теплота передається на дві стадії:

- від теплоносія трубкам, якими проходить отпарной газ;
- від трубок відпарного газу.

Розробка інформаційно-логічної схеми кожухотрубного теплообмінника як об'єкта керування наведено в [6].

На рис. 6.2. наведено інформаційно-логічну схему кожухотрубного теплообмінника як об'єкта керування.

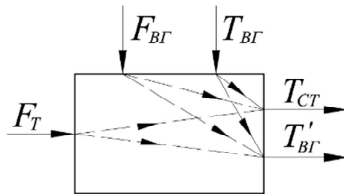


Рисунок 6.2 – Інформаційно-логічна схема кожухотрубного теплообмінника як об'єкта керування

Примітка. Інформацію, що стосується даного розділу, слід шукати в Інтернеті.

Синтез автоматичної системи регулювання (АСР) для економайзера Е-132, що використовується у відпарюванні процесного конденсату в виробництві аміаку, має на меті забезпечити оптимальний тепловий режим для ефективного очищення конденсату. АСР економайзера включає кілька основних функціональних вузлів і контурів регулювання, що працюють для забезпечення стабільної та надійної роботи процесу. Система автоматизації повинна підтримувати оптимальні параметри температури, тиску і витрати теплоносія, зменшуючи енергетичні втрати та покращуючи екологічні показники.

1. Вибір параметрів регулювання

Для досягнення стабільної роботи економайзера Е-132 виділяються такі основні параметри, які підлягають автоматичному регулюванню:

- Температура теплоносія на виході з економайзера. Регулювання цього параметра забезпечує ефективний обігрів процесного конденсату до необхідної температури для подальшого відпарювання.

- Тиск теплоносія. Підтримання стабільного тиску дозволяє запобігти різким коливанням температури та втратам енергії.

- Витрата процесного конденсату. Забезпечення стабільної витрати конденсату важливе для досягнення необхідного рівня очищення та уникнення перевантаження системи.

2. Структура автоматичної системи регулювання

Автоматична система регулювання економайзера Е-132 складається з кількох контурів регулювання, що взаємодіють між собою:

Контур регулювання температури

Основний контур регулювання температури використовує датчики температури на виході з економайзера для контролю за температурним режимом. Датчики підключені до контролера, який обробляє дані та за потреби регулює подачу теплоносія (парової або водяної пари). Регулювання температури здійснюється за допомогою:

- Регулюючого клапана на трубопроводі з теплоносієм. Клапан відкривається або закривається залежно від температури, підтримуючи оптимальний рівень нагріву конденсату.

Контур регулювання тиску

Контур тиску використовується для стабілізації тиску теплоносія, що подається в економайзер. Цей контур включає:

- Датчики тиску на вході і виході економайзера, які передають дані до контролера.
- Регулюючий клапан на подачі теплоносія або систему байпасів, що дозволяє утримувати тиск на постійному рівні.

Контур регулювання витрати

Для підтримки оптимальної витрати процесного конденсату передбачено контур регулювання витрати. Цей контур включає:

- Витратоміри для моніторингу потоку процесного конденсату, що подається в економайзер.
- Контролер, що обробляє дані від витратомірів і регулює швидкість подачі за допомогою регулюючих клапанів або насосів.

3. Алгоритм роботи системи автоматичного регулювання

Алгоритм роботи АСР економайзера включає такі етапи:

1) Вимірювання параметрів. Датчики температури, тиску та витрати передають дані до центрального контролера.

2) Обробка даних. Контролер обробляє отримані дані, порівнює їх із заданими значеннями та визначає необхідність коригування.

3) Коригувальні дії. У разі відхилення параметрів від встановлених значень контролер надсилає сигнал до виконавчих механізмів:

– Якщо температура теплоносія перевищує задану, клапан подачі теплоносія частково закривається, знижуючи температуру.

– Якщо тиск падає нижче допустимого рівня, система збільшує подачу теплоносія для досягнення потрібного рівня.

– Якщо витрата конденсату не відповідає заданим параметрам, швидкість подачі коригується.

4) Стабілізація процесу. Контур регулювання працює в режимі зворотного зв'язку, постійно коригуючи параметри для підтримки стабільної роботи економайзера.

В даній роботі розробляється один контур регулювання, а саме, регулювання температури відпарного газу на виході економайзера E-132 шляхом зміни витрати теплоносія – пари на його вході.

Відповідно до визначеної мети розробляється функціональна схема автоматизації, яка реалізує всі цільові функції вимірювання, контролю та керування технологічними параметрами. На рис. 7.1 наведена функціональна схема автоматизації відділення відпарювання процесного конденсату у виробництві аміаку.

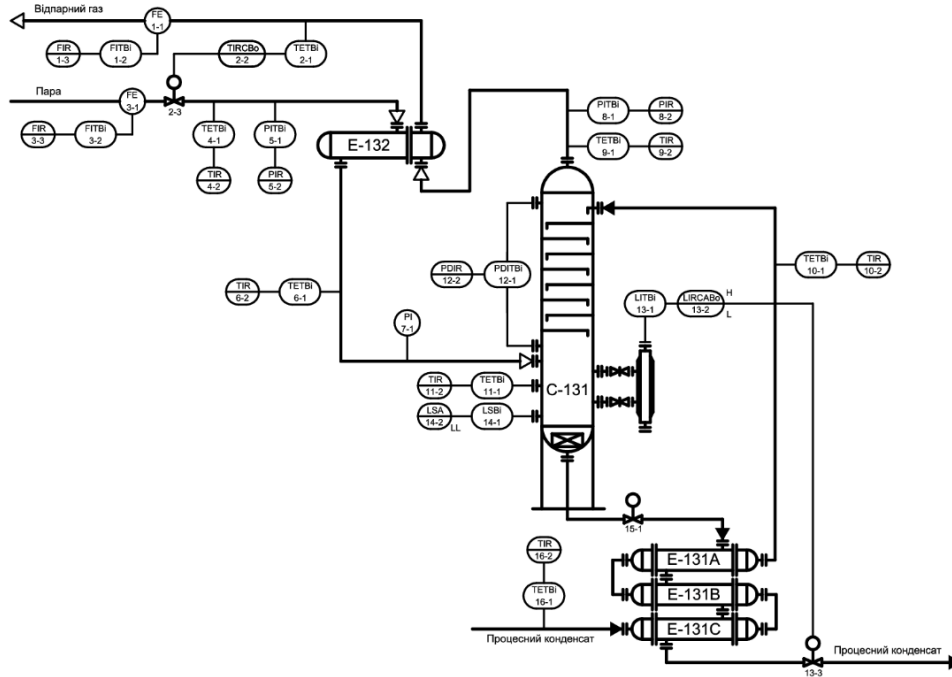


Рисунок 7.1 – Функціональна схема автоматизації відділення відпарювання процесного конденсату у виробництві аміаку

5. Вибір обладнання та програмного забезпечення

Для реалізації автоматичної системи регулювання (АСР) економайзера Е-132 важливо вибрати обладнання та програмне забезпечення, які забезпечать високу точність вимірювань, надійність та гнучкість регулювання параметрів процесу. Комплекс обладнання повинен включати контролери, датчики, регулюючі клапани та програмні рішення для моніторингу і контролю.

5.1 Контролери

Основу АСР складають програмовані логічні контролери (ПЛК), що забезпечують швидке оброблення даних від датчиків та керування виконавчими механізмами. ПЛК дозволяє програмувати логіку регулювання, а також інтегруватися з іншими елементами системи керування. Наприклад:

- Контролери Siemens SIMATIC S7 або аналогічні забезпечують високий рівень надійності, можливість роботи в складних умовах, зручну інтеграцію зі SCADA-системами.

- Контролери Schneider Electric Modicon або Rockwell Automation є альтернативними варіантами, що підтримують сучасні інтерфейси та протоколи зв'язку, такі як Modbus, Profibus, Ethernet.

Примітка. Докладну інформацію при виборі конкретного приладу слід шукати на сайті виробника в Інтернеті.

5.2 Датчики

Для точного контролю параметрів процесу вибирають високоточні датчики:

- Датчики температури. Наприклад, термопари або термометри опору, що мають високу чутливість і здатні працювати при високих

температурах. Вибір таких моделей як Rosemount, Endress+Hauser дозволяє забезпечити стабільну роботу та високу точність вимірювань.

– Датчики тиску. Вибираються сенсори тиску з високою точністю, здатні працювати у високотемпературному середовищі. Моделі від Honeywell або WIKA забезпечують точність, стабільність, а також стійкість до корозії.

– Витратоміри. Для контролю витрати процесного конденсату обираються магнітні або ультразвукові витратоміри, що забезпечують високу точність вимірювання витрати рідини. Такі виробники, як KROHNE та ABB, пропонують надійні моделі витратомірів для промислових процесів.

Примітка. Докладну інформацію при виборі конкретного приладу слід шукати на сайті виробника в Інтернеті.

5.3 Регулюючі клапани

Для підтримки заданих параметрів температури, тиску та витрати використовуються регулюючі клапани з електроприводом або пневмоприводом, що керуються сигналами від контролера. Наприклад:

– Клапани Samson, Fisher, Valmet з електронним або пневматичним приводом забезпечують точне регулювання подачі теплоносія чи процесного конденсату.

– Приводи клапанів оснащуються датчиками положення та зворотного зв'язку для забезпечення високої точності регулювання.

Примітка. Докладну інформацію при виборі конкретного приладу слід шукати на сайті виробника в Інтернеті.

5.4 Програмне забезпечення

Для керування і моніторингу роботи АСР використовується програмне забезпечення для системи диспетчеризації і збору даних,

таке як SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), що забезпечує централізований контроль та візуалізацію всіх параметрів процесу:

- SCADA-системи (наприклад, WinCC (Siemens), Wonderware InTouch, або GE iFIX) надають можливість в реальному часі стежити за показниками температури, тиску, витрати, а також здійснювати налаштування параметрів процесу.

- SCADA-системи дозволяють зберігати дані для подальшого аналізу, що полегшує виявлення можливих несправностей і дозволяє оптимізувати процес.

- Використання програмного забезпечення з інтерфейсами НМІ (Human Machine Interface) забезпечує простоту керування для операторів, дозволяючи їм швидко реагувати на відхилення у роботі системи.

5.5 Протоколи зв'язку

Для забезпечення надійної передачі даних у системі використовуються протоколи зв'язку, такі як:

- Modbus, Profibus, Ethernet/IP – забезпечують стабільний обмін даними між ПЛК, датчиками та SCADA-системою.

- Використання промислових комунікаційних шлюзів дозволяє інтегрувати систему автоматизації економайзера з іншими процесами на виробництві.

5.6 Енергозабезпечення та резервування

АСР потребує надійного джерела живлення, зокрема:

- Джерела безперебійного живлення (UPS) для захисту від короткочасних перебоїв, що дозволяють уникнути аварійної зупинки обладнання.

– Резервне обладнання для забезпечення надійності роботи системи у разі виходу з ладу основних елементів (наприклад, дублювання критичних датчиків та контролерів).

6. Взаємодія з іншими системами

АСР економайзера може бути інтегрована з загальною системою керування процесом виробництва аміаку, що дозволить централізовано контролювати всі технологічні процеси, оперативне виявляти та усувати відхилення від норми.

8 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Об'єкт керування – економайзер Е-132 є кожухотрубним теплообмінником (рис. 6.1). Розробка його математичної моделі починається зі складання теплового балансу:

$$\begin{cases} dq_T = dq_{MT} + dq_{CT}; \\ dq_{BG} + dq_{CT} = dq''_{BG} + dq'_{BG} + dq_{HC}, \end{cases} \quad (8.1)$$

де

$$dq_T = F_T \cdot C_T \cdot (T_T - T'_T) \cdot dt \quad (8.2)$$

dq_T – кількість теплоти, що надходить із теплоносієм, [кДж];

F_T – масова витрата теплоносія на вході в теплообмінник, [кг/с];

C_T – питома теплоємність теплоносія на вході в теплообмінник, [кДж/(кг · °С)];

T_T – температура теплоносія на вході в теплообмінник, [°С];

T'_T – температура теплоносія на виході з теплообмінника, [°С];

t – час, [с];

$$dq_{MT} = m_{TP} \cdot C_{TP} \cdot dT_{CT} \quad (8.3)$$

dq_{MT} – кількість теплоти, що накопичується у матеріалі трубок, [кДж];

m_{TP} – маса трубок, [кг];

C_{TP} – питома теплоємність трубок, [кДж/(кг · °С)];

T_{CT} – температура стінок трубок, [°С];

$$dq_{CT} = \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot (T_{CT} - T'_{BG}) \cdot dt \quad (8.4)$$

dq_{CT} – кількість теплоти, що відбирається відпарним газом від стінок трубок, [кДж];

α_{CT} – коефіцієнт віддачі теплоти відпарному газу стінками трубок, [кДж/(м² · с · °С)];

$S_{\text{ТР}}$ – поверхня трубок, [м²];

$T'_{\text{ВГ}}$ – температура відпарного газу на виході з теплообмінника, [°C];

$$dq_{\text{ВГ}} = F_{\text{ВГ}} \cdot C_{\text{ВГ}} \cdot T_{\text{ВГ}} \cdot dt \quad (8.5)$$

$dq_{\text{ВГ}}$ – кількість теплоти, що надходить із відпарним газом, [кДж];

$F_{\text{ВГ}}$ - масова витрата відпарного газу на вході в теплообмінник, [кг/с];

$C_{\text{ВГ}}$ – питома теплоємність відпарного газу на вході в теплообмінник, [кДж/(кг · °C)];

$T_{\text{ВГ}}$ – температура відпарного газу на вході в теплообмінник, [°C];

$$dq''_{\text{ВГ}} = m_{\text{ВГ}} \cdot C'_{\text{ВГ}} \cdot dT'_{\text{ВГ}} \quad (8.6)$$

$dq''_{\text{ВГ}}$ – кількість теплоти, що накопичується у відпарному газі, [кДж];

$m_{\text{ВГ}}$ – маса відпарного газу, [кг];

$C'_{\text{ВГ}}$ – питома теплоємність відпарного газу на виході з теплообмінника, [кДж/(кг · °C)];

$$dq'_{\text{ВГ}} = F_{\text{ВГ}} \cdot C'_{\text{ВГ}} \cdot T'_{\text{ВГ}} \cdot dt \quad (8.7)$$

$dq'_{\text{ВГ}}$ – кількість теплоти, що відбирається відпарним газом, [кДж];

$$dq_{\text{НС}} = \alpha_{\text{НС}} \cdot S \cdot (T_{\text{СТ}} - T_{\text{НС}}) \cdot dt \quad (8.8)$$

$dq_{\text{НС}}$ – кількість теплоти, що відбирається доквіллям з поверхні теплообмінника, [кДж];

$\alpha_{\text{НС}}$ – коефіцієнт віддачі теплоти в навколишнє середовище поверхнею теплообмінника, [кДж/(м² · с · °C)];

S – поверхня теплообмінника, [м²];

$T_{\text{НС}}$ – середня температура навколишнього середовища, [°C].

Якщо теплообмінник має теплову ізоляцію, то кількість теплоти, що відбирається навколишнім середовищем з поверхні теплообмінника

dq_{HC} , незначна і становить 3...5 % кількості теплоти, що приходить з теплоносієм dq_{T} .

Підставляємо (8.2)...(8.8) у (8.1) і отримуємо систему рівнянь теплового балансу в розгорнутому вигляді:

$$\begin{cases} F_{\text{T}} \cdot C_{\text{T}} \cdot (T_{\text{T}} - T'_{\text{T}}) \cdot dt = m_{\text{ТР}} \cdot C_{\text{ТР}} \cdot dT_{\text{СТ}} + \alpha_{\text{СТ}} \cdot S_{\text{ТР}} \\ \quad \cdot (T_{\text{СТ}} - T'_{\text{ВГ}}) \cdot dt; \\ F_{\text{ВГ}} \cdot C_{\text{ВГ}} \cdot T_{\text{ВГ}} \cdot dt + \alpha_{\text{СТ}} \cdot S_{\text{ТР}} \cdot (T_{\text{СТ}} - T'_{\text{ВГ}}) \cdot dt = \\ m_{\text{ВГ}} \cdot C'_{\text{ВГ}} \cdot dT'_{\text{ВГ}} + F_{\text{ВГ}} \cdot C'_{\text{ВГ}} \cdot T'_{\text{ВГ}} \cdot dt + \alpha_{\text{HC}} \cdot S \\ \quad \cdot (T_{\text{СТ}} - T_{\text{HC}}) \cdot dt. \end{cases} \quad (8.9)$$

Перше рівняння системи (8.9) описує тепловий баланс теплоносія (пара), друге – тепловий баланс продукту, що нагрівається (відпарного газу).

Ділимо систему рівнянь (8.9) на dt :

$$\begin{cases} F_{\text{T}} \cdot C_{\text{T}} \cdot (T_{\text{T}} - T'_{\text{T}}) + \alpha_{\text{СТ}} \cdot S_{\text{ТР}} \cdot T'_{\text{ВГ}} = \\ m_{\text{ТР}} \cdot C_{\text{ТР}} \cdot dT_{\text{СТ}}/dt + \alpha_{\text{СТ}} \cdot S_{\text{ТР}} \cdot T_{\text{СТ}}; \\ F_{\text{ВГ}} \cdot C_{\text{ВГ}} \cdot T_{\text{ВГ}} + \alpha_{\text{СТ}} \cdot S_{\text{ТР}} \cdot T_{\text{СТ}} = \\ m_{\text{ВГ}} \cdot C'_{\text{ВГ}} \cdot dT'_{\text{ВГ}}/dt + F_{\text{ВГ}} \cdot C'_{\text{ВГ}} \cdot T'_{\text{ВГ}} + \alpha_{\text{СТ}} \cdot S_{\text{ТР}} \cdot T'_{\text{ВГ}}. \end{cases} \quad (8.10)$$

Оскільки теплообмінник має теплову ізоляцію, то втрати теплоти dq_{HC} незначні і ними можна знехтувати. При допустимих відхиленнях температури зміни питомих теплоємностей $C_{\text{ТР}}$, $C_{\text{ВГ}}$, $C'_{\text{ВГ}}$ незначні і ними також можна знехтувати. Коефіцієнт віддачі теплоти в довкілля поверхнею теплообмінника α_{HC} також незначний.

Постійні параметри:

– C_{T} – питома теплоємність теплоносія на вході в теплообмінник, [кДж/(кг · °C)];

– T_{T} – температура теплоносія на вході в теплообмінник, [°C];

– T'_T – температура теплоносія на виході з теплообмінника, [°C];

– m_{TP} – маса трубок, [кг];

– S_{TP} – поверхня трубок, [м²];

– m_{BG} – маса відпарного газу, [кг].

Змінні параметри:

– T_{BG} – температура відпарного газу на вході в теплообмінник, [°C];

– T_{CT} – температура стінок трубок, [°C];

– T'_{BG} – температура відпарного газу на виході з теплообмінника, [°C];

– F_{BG} – масова витрата відпарного газу на вході в теплообмінник, [кг/с];

– F_T – масова витрата теплоносія на вході в теплообмінник, [кг/с].

Змінні параметри об'єкта керування:

$$\begin{cases} T_{BG} = T_{BGO} + \Delta T_{BG}; & T_{CT} = T_{CTO} + \Delta T_{CT}; & T'_{OG} = T'_{OGO} + \Delta T'_{OG}; \\ F_{BG} = F_{BGO} + \Delta F_{BG}; & F_T = F_{TO} + \Delta F_T. \end{cases} \quad (8.11)$$

Підставляємо змінні параметри (8.11) у систему рівнянь (8.10):

$$\left\{ \begin{array}{l}
(F_{T0} + \Delta F_T) \cdot C_T \cdot (T_T - T'_T) + \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot (T'_{BFO} + \Delta T'_{BF}) = \\
= m_{TP} \cdot C_{TP} \cdot d(T_{CT0} + \Delta T_{CT}) / dt + \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot (T_{CT0} + \Delta T_{CT}); \\
(F_{BFO} + \Delta F_{BF}) \cdot C_{BF} \cdot (T_{BFO} + \Delta T_{BF}) + \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot (T_{CT0} + \Delta T_{CT}) = \\
= m_{BF} \cdot C'_{BF} \cdot d(T'_{BFO} + \Delta T'_{BF}) / dt + (F_{BFO} + \Delta F_{BF}) \cdot C'_{BF} \cdot \\
\cdot (T'_{BFO} + \Delta T'_{BF}) + \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot (T'_{BFO} + \Delta T'_{BF}).
\end{array} \right. \quad (8.12)$$

Виконуємо математичні операції (8.12) і нехтуємо складовими
малого ступеня важливості:

$$\left\{ \begin{array}{l}
F_{T0} \cdot C_T \cdot T_T - F_{T0} \cdot C_T \cdot T'_T + \Delta F_T \cdot C_T \cdot T_T + \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot T'_{BFO} + \\
+ \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot \Delta T'_{BF} = m_{TP} \cdot C_{TP} \cdot d\Delta T_{CT} / dt + \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot T_{CT0} + \\
+ \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot \Delta T_{CT}; \\
F_{BFO} \cdot C_{BF} \cdot T_{BFO} + F_{BFO} \cdot C_{BF} \cdot \Delta T_{BF} + \Delta F_{BF} \cdot C_{BF} \cdot T_{BFO} + \\
+ \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot T_{CT0} + \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot \Delta T_{CT} = m_{BF} \cdot C'_{BF} \cdot d\Delta T'_{BF} / dt + \\
+ F_{BFO} \cdot C'_{BF} \cdot T'_{BFO} + F_{BFO} \cdot C'_{BF} \cdot \Delta T'_{BF} + \Delta F_{BF} \cdot C'_{BF} \cdot T'_{BFO} + \\
+ \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot T'_{BFO} + \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot \Delta T'_{BF}.
\end{array} \right. \quad (8.13)$$

Система рівнянь статики:

$$\left\{ \begin{array}{l}
F_{T0} \cdot C_T \cdot (T_T - T'_T) = \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot (T_{CT0} - T'_{BFO}); \\
F_{BFO} \cdot C_{BF} \cdot T_{BFO} + \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot (T_{CT0} - T'_{BFO}) = F_{BFO} \cdot C'_{BF} \cdot T'_{BFO}.
\end{array} \right. \quad (8.14)$$

Виключаємо систему рівнянь статички (8.14) із системи рівнянь (8.13) :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta F_T \cdot C_T \cdot T_T + \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot \Delta T'_{BG} = m_{TP} \cdot C_{TP} \cdot d\Delta T_{CT} / dt + \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot \Delta T_{CT}; \\ F_{BGO} \cdot C_{BG} \cdot \Delta T_{BG} + (C_{BG} \cdot T_{BGO} - C'_{BG} \cdot T'_{BGO}) \cdot \Delta F_{BG} + \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot \Delta T_{CT} = \\ = m_{BG} \cdot C'_{BG} \cdot d\Delta T'_{BG} / dt + (F_{BGO} \cdot C'_{BG} + \alpha_{CT} \cdot S_{TP}) \cdot \Delta T'_{BG}. \end{array} \right. \quad (8.15)$$

Вводимо такі позначення:

$$\left\{ \begin{array}{l} z = \Delta T_{BG} / T_{BGO}; \quad y_1 = \Delta T_{CT} / T_{CTO}; \quad y_2 = \Delta T'_{BG} / T'_{BGO}; \\ x_2 = \Delta F_{BG} / F_{BGO}; \quad x_1 = \Delta F_T / F_{TO}. \end{array} \right. \quad (8.16)$$

Підставляємо позначення (8.16) у систему рівнянь (8.15) :

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 \cdot F_{TO} \cdot C_T \cdot T_T + \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot y_2 \cdot T'_{BGO} = \\ = m_{TP} \cdot C_{TP} \cdot dy_1 / dt \cdot T_{CTO} + \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot y_1 \cdot T_{CTO}; \\ F_{BGO} \cdot C_{BG} \cdot z \cdot T_{BGO} + (C_{BG} \cdot T_{BGO} - C'_{BG} \cdot T'_{BGO}) \cdot x_2 \cdot F_{BGO} + \\ + \alpha_{CT} \cdot S_{TP} \cdot y_1 \cdot T_{CTO} = m_{BG} \cdot C'_{BG} \cdot dy_2 / dt \cdot T'_{BGO} + \\ + (F_{BGO} \cdot C'_{BG} + \alpha_{CT} \cdot S_{TP}) \cdot y_2 \cdot T'_{BGO}. \end{array} \right. \quad (8.17)$$

Постійні часу:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_1 = m_{TP} \cdot C_{TP} / \alpha_{CT} \cdot S_{TP}; \\ \tau_2 = m_{BG} \cdot C'_{BG} / (F_{BGO} \cdot C'_{BG} + \alpha_{CT} \cdot S_{TP}). \end{array} \right. \quad (8.18)$$

Коефіцієнти передачі:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_1 = F_{\text{ТО}} \cdot C_{\text{T}} \cdot T_{\text{T}} / \alpha_{\text{СТ}} \cdot S_{\text{ТР}} \cdot T_{\text{СТО}}; \quad K_2 = T'_{\text{ВГО}} / T_{\text{СТО}}; \\ K_3 = (C_{\text{ВГ}} \cdot T_{\text{ВГО}} - C'_{\text{ВГ}} \cdot T'_{\text{ВГО}}) \cdot F_{\text{ВГО}} / (F_{\text{ВГО}} \cdot C'_{\text{ВГ}} + \alpha_{\text{СТ}} \cdot S_{\text{ТР}}) \cdot T'_{\text{ВГО}}; \\ K_4 = F_{\text{ВГО}} \cdot C_{\text{ВГ}} \cdot T_{\text{ВГО}} / (F_{\text{ВГО}} \cdot C'_{\text{ВГ}} + \alpha_{\text{СТ}} \cdot S_{\text{ТР}}) \cdot T'_{\text{ВГО}}; \\ K_5 = \alpha_{\text{СТ}} \cdot S_{\text{ТР}} \cdot T_{\text{СТО}} / (F_{\text{ВГО}} \cdot C'_{\text{ВГ}} + \alpha_{\text{СТ}} \cdot S_{\text{ТР}}) \cdot T'_{\text{ВГО}}. \end{array} \right. \quad (8.19)$$

Ділимо перше рівняння системи (8.17) на $\alpha_{\text{СТ}} \cdot S_{\text{ТР}} \cdot T_{\text{СТО}}$, друге – на $(F_{\text{ВГО}} \cdot C'_{\text{ВГ}} + \alpha_{\text{СТ}} \cdot S_{\text{ТР}}) \cdot T'_{\text{ВГО}}$, з урахуванням постійних часу (4.18) та коефіцієнтів передачі (4.19):

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_1 \cdot dy_1 / dt + y_1 = K_1 \cdot x_1 + K_2 \cdot y_2; \\ \tau_2 \cdot dy_2 / dt + y_2 = K_4 \cdot z + K_3 \cdot x_2 + K_5 \cdot y_1. \end{array} \right. \quad (8.20)$$

Оскільки температура стінок трубок ТСТО є проміжним параметром, її необхідно виключити з другого рівняння системи (8.17). Для цього розв'язуємо систему рівнянь щодо вихідної величини y_2 .

З другого рівняння системи (8.20) знаходимо y_1 :

$$y_1 = \frac{\tau_2}{K_5} \cdot \frac{dy_2}{dt} + \frac{1}{K_5} \cdot y_2 - \frac{K_4}{K_5} \cdot z - \frac{K_3}{K_5} \cdot x_2. \quad (8.21)$$

Похідна y_1 на підставі рівняння (8.21):

$$\frac{dy_1}{dt} = \frac{\tau_2}{K_5} \cdot \frac{d^2y_2}{dt^2} + \frac{1}{K_5} \cdot \frac{dy_2}{dt} - \frac{K_4}{K_5} \cdot \frac{dz}{dt} - \frac{K_3}{K_5} \cdot \frac{dx_2}{dt}. \quad (8.22)$$

Підставляємо рівняння (8.21) та (8.22) у перше рівняння системи (8.20):

$$\begin{aligned} \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \frac{d^2 y_2}{dt^2} + (\tau_1 \cdot \tau_2) \cdot \frac{dy_2}{dt} + (1 - K_2 \cdot K_5) \cdot y_2 = \\ K_1 \cdot K_5 \cdot x_1 + \left(\tau_1 \cdot K_3 \cdot \frac{dx_2}{dt} + K_3 \cdot x_2 \right) + \\ \left(\tau_1 \cdot K_4 \cdot \frac{dz}{dt} + K_4 \cdot z \right) \end{aligned} \quad (8.23)$$

Постійні часу:

$$\begin{cases} \tau' = (\tau_1 + \tau_2) / (1 - K_2 \cdot K_5); \\ \tau'' = (\tau_1 \cdot \tau_2) / (1 - K_2 \cdot K_5). \end{cases} \quad (8.24)$$

Коефіцієнти передачі:

$$\begin{cases} K_6 = K_1 \cdot K_5 / (1 - K_2 \cdot K_5); & K_7 = K_3 / (1 - K_2 \cdot K_5); \\ K_8 = K_4 / (1 - K_2 \cdot K_5). \end{cases} \quad (8.25)$$

Підставляємо постійні часу (8.24) та коефіцієнти передачі (8.25) до рівняння (8.23) :

$$\begin{aligned} \tau'' \cdot \frac{d^2 y_2}{dt^2} + \tau' \cdot \frac{dy_2}{dt} + y_2 = \\ K_6 \cdot x_1 + K_7 \cdot \left(\tau_1 \cdot \frac{dx_2}{dt} + x_2 \right) + K_8 \cdot \left(\tau_1 \cdot \frac{dz}{dt} + z \right). \end{aligned} \quad (8.26)$$

Рівняння (8.26) відповідає структурно-логічній схемі кожухотрубного теплообмінника як об'єкта керування, наведеної на рис. 6.2.

Передавальні функції об'єкта керування з урахуванням часу запізнення:

– по каналу регулювання:

$$W_p(s) = \frac{K_6}{\tau'' \cdot s^2 + \tau' \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau^p \cdot s}; \quad (8.27)$$

– по каналах збурення:

$$W_1(s) = \frac{K_7 \cdot (\tau_1 \cdot s + 1)}{\tau'' \cdot s^2 + \tau' \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau_1 \cdot s}; \quad (8.28)$$

$$W_2(s) = \frac{K_8 \cdot (\tau_1 \cdot s + 1)}{\tau'' \cdot s^2 + \tau' \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau_2 \cdot s}. \quad (8.29)$$

Значення технологічних параметрів, що відповідають номінальному режиму роботи представлені в табл. 5.1.

Вихідні дані для розрахунку математичної моделі кожухотрубного теплообмінника зведені у табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Вихідні дані для розрахунку математичної моделі кожухотрубного теплообмінника

Потік, що нагрівається	Відпарний газ
Масова витрата відпарного газу на виході з теплообмінника $F'_{вг}$, [т/г]	30
Тиск відпарного газу на вході в теплообмінник $P_{вг}$, [МПа]	3.8
Температура відпарного газу на вході в теплообмінник $T_{вг}$, [°C]	240
Температура відпарного газу на виході з теплообмінника $T'_{вг}$, [°C]	320
Теплоносій	пара
Тиск теплоносія на вході в теплообмінник P_T , [МПа]	4.0
Температура теплоносія на вході в теплообмінник T_T , [°C]	380
Температура теплоносія на виході з теплообмінника T'_T , [°C]	300

Довідникові дані для розрахунку математичної моделі кожухотрубного теплообмінника.

Таблиця 8.2 – Склад відпарного газу

Речовина	%
H ₂ O	98...99.5
CO ₂	0.1...0.5
NH ₃	0.1...0.5
H ₂	0.04...0.06
Органічні сполуки у перерахуванні на метанол	0.1...0.5

З даних табл. 8.2. приймаємо фазовий стан відпарного газу – перегріта пара.

Середня температура відпарного газу:

$$T_{\text{СЕР}} = \frac{T_{\text{ВГ}} + T'_{\text{ВГ}}}{2} = \frac{240 + 320}{2} = 280 \text{ [}^{\circ}\text{C]}. \quad (8.30)$$

Таблиця 8.3 – Характеристика відпарного газу

Тиск відпарного газу на вході в теплообмінник $P_{\text{ВГ}}$, [МПа]	3.8
Середня температура відпарного газу $T_{\text{СЕР}}$, [°C]	280
Щільність відпарного газу $\rho_{\text{ВГ}}$, [кг/м ³]	16.967
Питома теплоємність відпарного газу на вході в теплообмінник $C_{\text{ВГ}}$, [кДж/(кг · °C)]	2.99
Динамічний коефіцієнт в'язкості відпарного газу на вході в теплообмінник $\mu_{\text{ВГ}}$, [Па · с]	$1.897 \cdot 10^{-5}$
Коефіцієнт теплопровідності відпарного газу на вході в теплообмінник $\lambda_{\text{ВГ}}$, [Вт/(м · °C)]	0.05
Критерій Прандтля Pr	1.133

Питома теплоємність відпарного газу на виході з теплообмінника $C'_{\text{ВГ}} = C_{\text{ВГ}} = 2.99 \text{ [кДж/(кг · °C)]}$.

Коефіцієнт об'ємного розширення:

$$\beta = \frac{1}{T} = \frac{1}{533} = 0.002 \left[\frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right], \quad (8.31)$$

де $T = T_{\text{СРВГ}} + 273 = 280 + 273 = 553 \text{ } ^{\circ}\text{C}$.

Критерій Грасгофа:

$$Gr = \frac{(\lambda_{\text{ВГ}})^3 \cdot (\rho_{\text{ВГ}})^2 \cdot g \cdot \beta \cdot \Delta t}{(\mu_{\text{ВГ}})^2} = \frac{(0.05)^3 \cdot (16.967)^2 \cdot 9.81 \cdot 0.002 \cdot 44}{(1.897 \cdot 10^{-5})^2} = 86325111.99, \quad (8.32)$$

де $g = 9.81$ – коефіцієнт вільного падіння, $[\text{м}/\text{с}^2]$;

$$\Delta t = T_{\text{СТ}} - T_{\text{СРВГ}} = 324 - 280 = 44 \text{ } [^{\circ}\text{C}];$$

$$T_{\text{СТ}} = T'_{\text{ВГ}} + 4 = 320 + 4 = 324 \text{ - температура стінок трубок, } [^{\circ}\text{C}].$$

Добуток критеріїв Прандтля (табл. 8.3.) та Грасгофа (8.32) :

$$Pr \cdot Gr = 1.133 \cdot 86325111.99 = 97806351.89 \quad (8.33)$$

Перевіряємо нерівність:

$$500 < Pr \cdot Gr < 2 \cdot 10^7. \quad (8.34)$$

Підставляємо в рівняння (4.34) чисельне значення $Pr \cdot Gr$ (8.33) :

$$500 < 97806351.89 > 2 \cdot 10^7. \quad (8.35)$$

Нерівність (8.34) не виконується.

Перевіряємо нерівність:

$$Pr \cdot Gr > 2 \cdot 10^7. \quad (8.36)$$

Підставляємо в рівняння (8.36) чисельне значення $Pr \cdot Gr$ (8.33) :

$$97806351.89 > 2 \cdot 10^7. \quad (8.37)$$

Нерівність (8.36) виконується.

Оскільки $T_{\text{СРВГ}} = 280$ [°C]; перегріта (водяна) пара – номер точки 13;

$$(\rho_{\text{ВГ}})^2 \cdot \Delta t = (16.967)^2 \cdot 44 = 12666.68 \quad (8.38)$$

Коефіцієнт віддачі теплоти відпарному газу стінками трубок:

$$\alpha_{\text{СТ}} = 23 \cdot 1,163 \cdot 10^{-3} = 0.027 \text{ [кДж/(м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{°C)]}.$$

Таблиця 8.4 – Характеристика кожухотрубного теплообмінника типу ТУ

Діаметр кожуха теплообмінника (зовнішній) $D_{\text{Н}}$, [мм]	500
Діаметр кожуха теплообмінника (внутрішній) $D_{\text{ВН}}$, [мм]	490
Діаметр трубок теплообмінника (зовнішній) $d_{\text{Н}}$, [мм]	25
Товщина стін трубок теплообмінника s , [мм]	2
Число ходів	2
Поверхня трубок $S_{\text{ТР}}$, [м ²]	41.7
Площа перерізу трубок теплообмінника $S_{\text{СЕЧ}}$, [м ²] (0.0291 · 2)	0.0582
Питома теплоємність трубок $C_{\text{ТР}}$, [кДж/(кг · °C)]	0.5
Довжина трубок теплообмінника l , [м]	3
Маса теплообмінника $m_{\text{КТ}}$, [кг]	2250
Маса трубок теплообмінника $m_{\text{ТР}}$, [кг]	830
Кількість трубок теплообмінника N , [шт]	168

Маса відпарного газу:

$$\begin{aligned} m_{\text{ВГ}} &= \rho_{\text{ВГ}} \cdot V'_{\text{ВГ}} = \rho_{\text{ВГ}} \cdot l \cdot S_{\text{СЕЧ}} = \\ &= 16.967 \cdot 3 \cdot 0.0582 = 2.962 \text{ [кг]} \end{aligned} \quad (8.40)$$

Теплове навантаження теплоносія:

$$\begin{aligned} q_{\text{T}} &= F_{\text{ВГ}} \cdot C_{\text{ВГ}} \cdot (T'_{\text{ВГ}} - T_{\text{ВГ}}) = \\ &= 8.333 \cdot 2.99 \cdot (320 - 240) = 1993.254 \text{ [кДж/м}^2\text{]}. \end{aligned} \quad (8.41)$$

Масова витрата відпарного газу на вході в теплообмінник $F_{\text{ВГ}} = F'_{\text{ВГ}} = 30 \text{ [г/г]} = 8.333 \text{ [кг/с]}$.

Середня температура теплоносія:

$$T_{\text{СЕР}} = \frac{T_{\text{T}} + T'_{\text{T}}}{2} = \frac{380 + 300}{2} = 340 \text{ [}^{\circ}\text{C]}. \quad (8.42)$$

Таблиця 8.5 – Характеристика теплоносія

Тиск теплоносія на вході в теплообмінник P_{T} , [МПа]	4.0
Середня температура теплоносія $T_{\text{СРТ}}$, [°C]	340
Щільність теплоносія ρ_{T} , [кг/м ³]	15.38
Питома теплоємність теплоносія на вході в теплообмінник C_{T} , [кДж/(кг · °C)]	2.54

Масова витрата теплоносія на вході в теплообмінник:

$$F_{\text{T}} = \frac{q_{\text{T}}}{C_{\text{T}} \cdot (T_{\text{T}} - T'_{\text{T}})} = \frac{1993.254}{2.54 \cdot (380 - 300)} = 9.809 \text{ [кг/с]}. \quad (8.43)$$

Масова витрата теплоносія на вході в теплообмінник $F_{\text{T}} = 9.809 \text{ [кг/с]} = 35 \text{ [г/г]}$.

Підставляємо чисельні значення (8.18). Постійні часу:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_1 = \frac{830 \cdot 0.5}{0.027 \cdot 41.7} = 368.6; \\ \tau_2 = \frac{2.962 \cdot 2.99}{8.333 \cdot 2.99 + 0.027 \cdot 41.7} = 0.3 \text{ [с]}. \end{array} \right. \quad (8.44)$$

Підставляємо чисельні значення (8.19). Коефіцієнти передачі:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_1 = \frac{9.809 \cdot 2.54 \cdot 380}{0.027 \cdot 41.7 \cdot 324} = 25.953; \\ K_2 = \frac{320}{324} = 0.988; \\ K_3 = \frac{(2.99 \cdot 240 - 2.99 \cdot 320) \cdot 8.333}{(8.333 \cdot 2.99 + 0.027 \cdot 41.7) \cdot 320} = -0.239; \\ K_4 = \frac{8.333 \cdot 2.99 \cdot 240}{(8.333 \cdot 2.99 + 0.027 \cdot 41.7) \cdot 320} = 0.718; \\ K_5 = \frac{0.027 \cdot 41.7 \cdot 324}{(8.333 \cdot 2.99 + 0.027 \cdot 41.7) \cdot 320} = 0.044. \end{array} \right. \quad (8.45)$$

Підставляємо чисельні значення (8.24). Постійні часу:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau' = \frac{368.6 + 0.3}{1 - 0.988 \cdot 0.044} = 385.7 \text{ [c]}; \\ \tau'' = \frac{368.6 \cdot 0.3}{1 - 0.988 \cdot 0.044} = 115.6 \text{ [c}^2\text{]}. \end{array} \right. \quad (8.46)$$

Підставляємо чисельні значення (8.25). Коефіцієнти передачі:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_6 = \frac{25.953 \cdot 0.044}{1 - 0.988 \cdot 0.044} = 1.194; \\ K_7 = \frac{-0.2394}{1 - 0.988 \cdot 0.044} = -0.25; \\ K_8 = \frac{0.718}{1 - 0.988 \cdot 0.044} = 0.751. \end{array} \right. \quad (8.47)$$

Підставляємо постійні часу (8.46) та коефіцієнти передачі (8.47) до рівняння (8.26) :

$$115.6 \cdot \frac{d^2 y_2}{dt^2} + 385.7 \cdot \frac{dy_2}{dt} + y_2 = 1.194 \cdot x_1 + (-0.25) \cdot \left(368.6 \cdot \frac{dx_2}{dt} + x_2 \right) + 0.751 \cdot \left(368.6 \cdot \frac{dz}{dt} + z \right). \quad (8.48)$$

З математичної моделі (8.48) випливає, що зв'язки між вихідним параметром y_2 збуреннями x_2 і z незначні і їх можна знехтувати. Тоді математична модель (8.48) набуває наступного вигляду:

$$115.6 \cdot \frac{d^2 y_2}{dt^2} + 385.7 \cdot \frac{dy_2}{dt} + y_2 = 1.194 \cdot x_2 \quad (8.49)$$

Передатна функція об'єкта керування по каналу регулювання без урахування часу запізнення:

$$W_P(s) = \frac{1.194}{115.6 \cdot s^2 + 385.7 \cdot s + 1}. \quad (8.50)$$

На підставі (8.50) кожухотрубний теплообмінник як об'єкт керування описується диференціальним рівнянням другого порядку, а це означає, що за певних умов його перехідна функція може бути коливальною, якщо $\frac{v'}{\sqrt{v''}} < 2$. У даному випадку це відношення становить $\frac{385.7}{\sqrt{115.6}} = 35.9 > 2$. Перехідний процес описується рівнянням аперіодичного ланки другого порядку.

Час запізнення каналом зміни теплоносія:

$$\tau_{зТ} = \frac{V_T \cdot \rho_T}{F_T} + \frac{q_T}{\alpha_{СТ} \cdot S_{ТР} \cdot (T_T - T_{ВГ})} = \quad (8.51)$$

$$\frac{0.3 \cdot 15.38}{9.809} + \frac{1993.254}{0.027 \cdot 41.7 \cdot (380 - 240)} = 13.1 \text{ [с]}.$$

де V_T – обсяг теплоносія, [м³].

Об'єм теплоносія:

$$V_T = S \cdot l = \left(\frac{\pi}{4} \cdot (D_{ВН})^2 - N \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (dH)^2 \right) \cdot l = \quad (8.52)$$

$$(0.785 \cdot (0.490)^2 - 168 \cdot 0.785 \cdot (0.025)^2) \cdot 3 = 0.3 \text{ [м}^3\text{]}.$$

Передатна функція об'єкта керування каналом регулювання (8.50) з урахуванням часу запізнення (8.51):

$$WP(s) = \frac{1.194}{115.6 \cdot s^2 + 385.7 \cdot s + 1} \cdot e^{-13.1 \cdot s}. \quad (8.53)$$

9 РОЗРАХУНОК АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ

На рис. 9.1. наведено структурну схему автоматичної системи регулювання температури відпарного газу на виході парового економайзера Е-132.

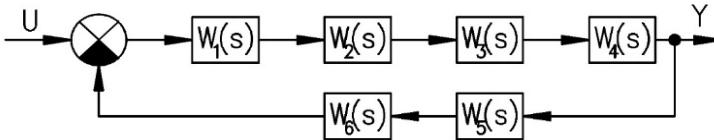


Рисунок 9.1 – Структурна схема АСР регулювання температури відпарного газу на виході парового економайзера Е-132

Передавальні функції окремих динамічних ланок АСР:

– Передатна функція ПІД-регулятора (PCY «INVENSYS»)

$$W_1(s) = K_p + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s, \quad (9.1)$$

де K_p – коефіцієнт посилення регулятора;

T_i – постійна часу інтегрування;

T_d – постійна часу диференціювання.

– Передавальна функція виконавчого механізму:

$$W_2(s) = \frac{K_2}{T_2 \cdot s + 1} = \frac{0.8}{20 \cdot s + 1}, \quad (9.2)$$

де $K_2 = 0.8$ – коефіцієнт передачі;

$T_2 = 20$ – постійна часу.

– Передавальна функція регулюючого органу:

$$W_3(s) = K_3 = 1.2, \quad (9.3)$$

де $K_3 = 1.2$ – коефіцієнт передачі.

– Передатна функція об'єкта керування:

$$W_4(s) = \frac{1.194}{115.6 \cdot s^2 + 385.7 \cdot s + 1} \cdot e^{-13.1 \cdot s}, \quad (9.4)$$

– Передатна функція вимірювального перетворювача (діафрагма камерна стандартна ДКС-6.3-250):

$$W_5(s) = K_5 = 0.4, \quad (9.5)$$

де $K_5 = 0.4$ – коефіцієнт передачі.

– Передатна функція проміжного перетворювача (інтелектуальний датчик різниці тисків Метран-100-ДД):

$$W_6(s) = K_6 = 1.08, \quad (9.6)$$

де $K = 1.08$ – коефіцієнт передачі.

Передатна функція АСР (система зі зворотним зв'язком):

$$W_{\text{АСР}}(s) = \frac{W_1(s) \cdot W_2(s) \cdot W_3(s) \cdot W_4(s)}{1 + W_1(s) \cdot W_2(s) \cdot W_3(s) \cdot W_4(s) \cdot W_5(s) \cdot W_6(s)}. \quad (9.7)$$

10 РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНИХ НАЛАГОДЖЕНЬ РЕГУЛЯТОРА

Передатна функція еквівалентного розімкненого об'єкта керування має вигляд:

$$W_{\text{ЕОК}}(s) = W_2(s) \cdot W_3(s) \cdot W_4(s) \cdot W_5(s) \cdot W_6(s). \quad (10.1)$$

Підставляємо в (10.1) передавальні функції окремих динамічних ланок:

$$\begin{aligned} W_{\text{ЕОК}}(s) &= \frac{0.8}{20 \cdot s + 1} \cdot 1.2 \cdot \frac{1.194 \cdot e^{-13.1 \cdot s}}{115.6 \cdot s^2 + 385.7 \cdot s + 1} \cdot 0.4 \cdot 1.08 = \\ &= \frac{0.4952}{2312 \cdot s^3 + 7830 \cdot s^2 + 405.7 \cdot s + 1} \cdot e^{-13.1 \cdot s}. \end{aligned} \quad (10.2)$$

Для подальших розрахунків нам необхідно мати час запізнення у вигляді дробу. Для цього розкладемо його у ряд Паде другого порядку.

$$e^{-13.1 \cdot s} \approx \frac{s^2 - 0.458 \cdot s + 0.06993}{s^2 + 0.458 \cdot s + 0.06993}.$$

Після підстановки апроксимованого часу запізнення передавальна функція еквівалентного об'єкта керування набуде вигляду:

$$\begin{aligned} W_{\text{ЕОК}}(s) &= \\ &= \frac{0.4952 \cdot s^2 - 0.2268 \cdot s + 0.03463}{2312 \cdot s^5 + 8889 \cdot s^4 + 4153 \cdot s^3 + 734.3 \cdot s^2 + 28.83 \cdot s + 0.06993} \end{aligned}$$

Знаменник передавальної функції еквівалентного об'єкта є знакопостійним, що свідчить про виконання необхідних умов стійкості

об'єкта. Для оцінки дійсної стійкості об'єкта побудуємо криву перехідного процесу реакції системи на одиничне вхідне збурення.

Функція кривої розгону еквівалентного об'єкта керування АСР: зміна температури на виході парового економайзера Е-132 при одиничній зміні витрати гріючої пари на вході.

Розрахунок здійснювався у пакеті прикладних програм «MatLab» (Додаток Е, програма «Transition_process.m»), крива перехідного процесу наведена на рис. 10.1.

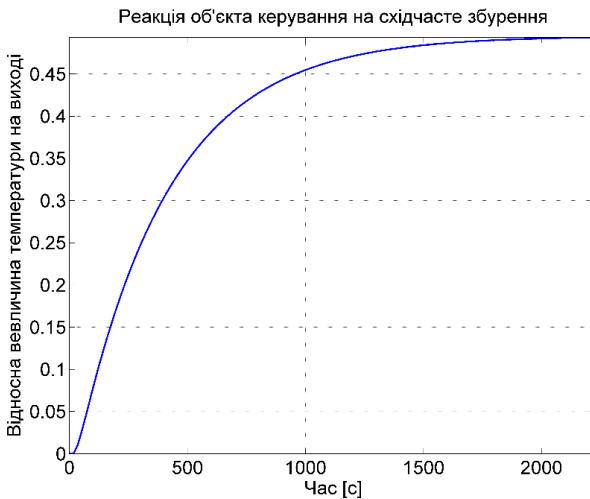


Рисунок 10.1 – Крива розгону еквівалентного об'єкта керування АСР: зміна температури на виході парового економайзера Е-132 при одиничній зміні витрати гріючої пари на вході

Графік перехідного процесу реакції еквівалентного об'єкта керування на одиничне вхідне збурення підтверджує стійкість системи.

Для АСР парового економайзера Е-132 обираємо ПІ-регулятор.

Розрахунок оптимальних налаштувань регулятора будемо робити методом незагасаючих коливань (Нікольса-Циглера).

Розрахунок будемо здійснювати у пакеті прикладних програм «MatLab» (Додаток Е, програма «Frequency_characteristics.m» та програма-функція «Array_form.m»).

Розрахунок починається з обрахунку частотних характеристик системи, а саме АЧХ і ФЧХ. Для цього вводимо в основну програму початкові дані: елементи для розрахунку передавальної функції еквівалентного об'єкта керування, кінцеву частоту моделювання та крок прирощення частоти при моделюванні. Дві останні величини також визначають масштаб отриманих даних. У підсумку було обрано кінцеву частоту моделювання $w_final = 0.07$, а крок прирощення частоти при моделюванні $w_incr = 0.0001$.

Побудована АЧХ наведена на рис. 10.2.

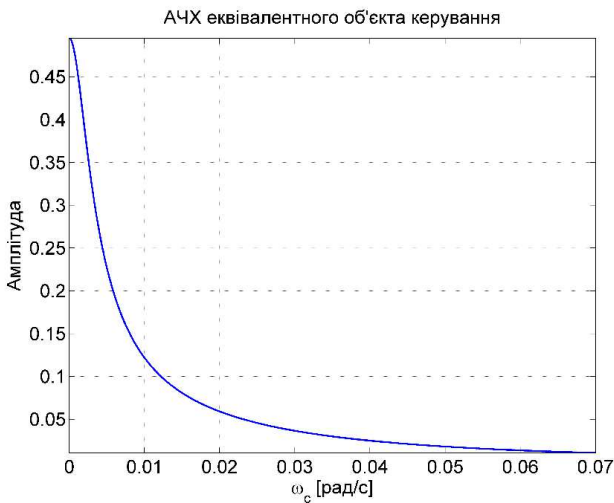


Рисунок 10.2 – Амплітудно-частотна характеристика еквівалентного об'єкта керування (ФЧХ)

Побудована ФЧХ наведена на рис. 10.3.

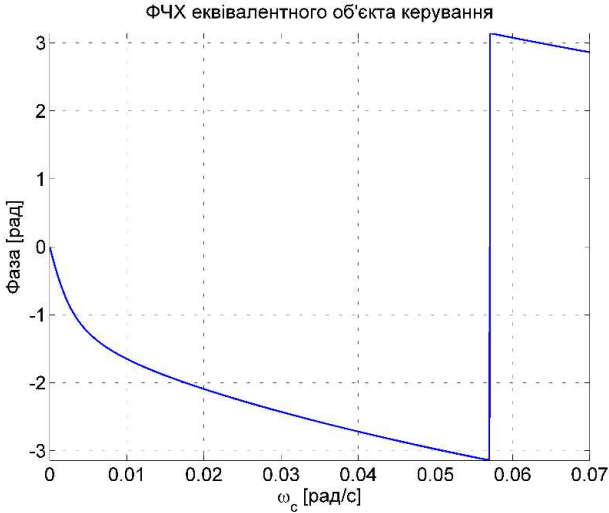


Рисунок 10.3 – Фазо-частотна характеристика еквівалентного об'єкта керування (ФЧХ)

Для розрахунку настроювальних параметрів регулятора з ФЧХ визначаємо критичну частоту системи, що відповідає межі її стійкості. Ця величина дорівнює частоті для величині фазового зсуву $-\pi$. На графіку це точка розриву функції. Для більш точного визначення у вікні Workspace програми MatLab відкриваємо файл *F*, що містить розраховані значення фази, та в лівому стовпчику знаходимо номер точки, частота якої (правий стовпчик) відповідає значенню $(-\pi)$. У цій точці функція має розрив, тому можна дивитися, де функція з від'ємної змінюється на додатну. Це точка номер 571, їй відповідає значення фази -3.1395 . Частота для цієї точки є критичною частотою системи.

Далі для знаходження значення критичної частоти системи у вікні Workspace відкриваємо файл *Omega*, що містить розраховані значення частоти, і в лівому стовпчику заходимо точку 571, якій у правому стовпчику відповідає критичне значення частоти $\omega_{кр} = 0.057$.

Тепер у вікні Workspace відкриваємо файл A , що містить розраховані значення амплітуди, і в лівому стовпчику заходимо точку 571, якій у правому стовпчику відповідає критичне значення амплітуди $A_{кр} = 0.0148$.

На основі отриманих даних розраховуємо критичний коефіцієнт підсилення для П-регулятора:

$$K_{p\text{ кр}} = \frac{1}{A_0(\omega_{кр})} = \frac{1}{0.0148} = 67.57.$$

Розглянемо можливість застосування в АСР в якості регулюючого пристрою ПД-регулятор.

Почнемо розрахунок налаштувань регулятора з його пропорційної частини. Відповідно до формул оптимальних налаштувань для метода незагасаючих коливань:

$$K_p = 0.5 \cdot K_{p\text{ кр}},$$

і передавальна функція регулятора (4.54) набуде вигляду:

$$W_1(s) = K_p = 0.5 \cdot 67.57 = 33.79.$$

Підставляємо передавальну функцію регулятора в передавальну функцію АСР (4.60) і обчислимо реакцію системи на одиничне збурення (Додаток Е, програма «Transition_process_Feedback_system.m»).

Крива перехідного процесу наведена на рис. 10.4.

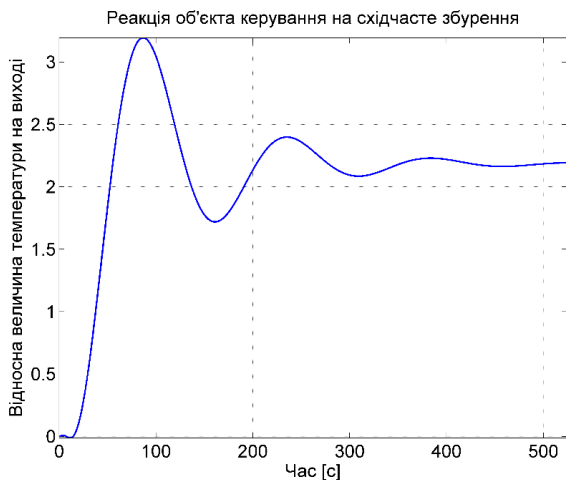


Рисунок 10.4 – Перехідний процес АСР з П-регулятором, $K_p = 33.79$

Для зменшення усталеної похибки системи оптимізуємо коефіцієнт пропорційності регулятора, а саме зменшимо його. Оптимізований перехідний процес наведено на рис. 10.5.

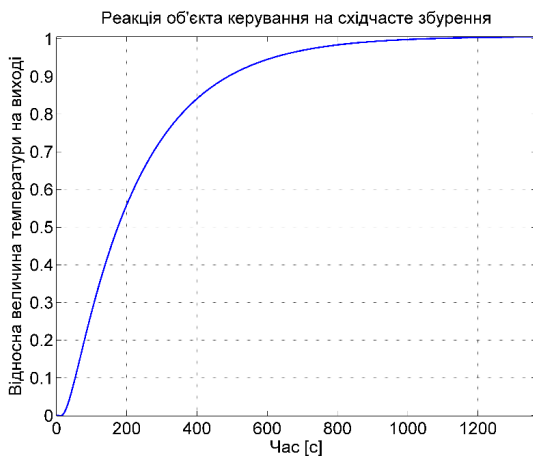


Рисунок 10.5 – Перехідний процес АСР з П-регулятором, $K_p = 0.023$

Перехідний процес є задовільним, але великий час виходу на усталене значення.

Додавання до регулятора інтегральної складової

$$T_i = \frac{300}{K_{kp} \cdot W_{kp}} = \frac{300}{67.57 \cdot 0.057} = 77.89 ,$$

$$W_1(s) = K_p + \frac{1}{T_i \cdot s}$$

погіршує перехідний процес, додає велику похибку в усталеному режимі.

На рис. 10.6. наведена крива перехідного процесу, яка показує, що розрахований за формулою та оптимізований час інтегрування не зменшив час усталення та похибку в усталеному режимі.

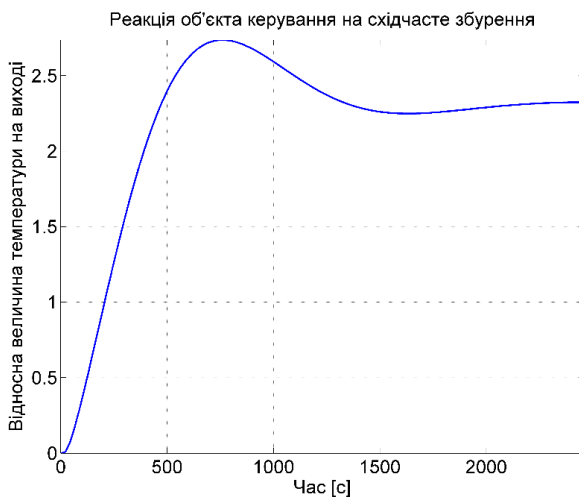


Рисунок 10.6 – Перехідний процес АСР з ПІ-регулятором,

$$K_p = 0.023, T_i = 77.89$$

Така поведінка АСР обумовлена значною інерційністю об'єкта регулювання, яка характеризується великими постійними часу у знаменнику його передавальної функції. Для подібних об'єктів є ефективним введення диференціюючої складової.

Розрахуємо час диференціювання за формулою:

$$T_D = 0.47 \cdot \frac{K_p \kappa_p}{\omega_{кр}} = 0.47 \cdot \frac{67.57}{0.057} = 557.16 ,$$

$$W_1(s) = K_p + T_D \cdot s .$$

Крива перехідного процесу АСР з ПД-регулятором наведена на рис. 10.7.

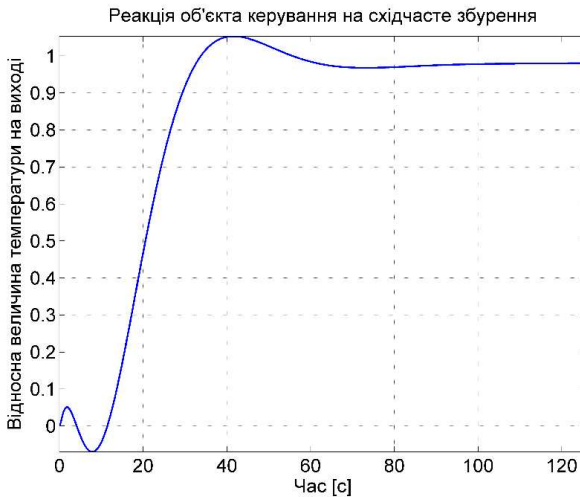


Рисунок 10.7 – Перехідний процес АСР з ПД-регулятором,

$$K_p = 0.023, T_D = 557.16$$

Основним призначенням АСР є підтримання заданого постійного значення регульованого параметра чи зміна його за визначеним законом. При відхиленні в даний момент часу величини регульованого параметра від заданого значення, що може статися або в результаті появи збурювальних впливів на систему, або при зміні заданого значення регульованої величини, автоматичний регулятор впливає на систему таким чином, щоб ліквідувати це відхилення. Тоді система переходить з одного рівноважного стану в інший, тобто в ній виникає перехідний процес, що визначається динамічними властивостями системи.

Якщо збурюючий вплив буде знято або, якщо постійний за величиною збурюючий вплив або зміна на постійну величину управляючого впливу буде зберігатися і при цьому система після закінчення перехідного процесу знову приходить в початковий або інший рівноважний стан, така система називається стійкою.

Якщо за тих самих умов у системі або виникають коливання з зростаючою амплітудою, або відбувається монотонне збільшення відхилення регульованої величини від її заданого рівноважного значення, то система називається нестійкою.

Щоб визначити, стійка чи нестійка система, необхідно вивчити її поведінка при малих відхиленнях від рівноважного стану. Якщо при цьому система прагне повернутися до рівноважного стану, то вона буде стійкою. Якщо ж у системі виникають сили, які прагнуть збільшити відхилення системи від рівноважного стану, система буде нестійкою.

Першою проблемою, що вирішувалася теорією автоматичного регулювання, було забезпечення стійкості автоматичних систем. Пізніше центральною завданням стало досягнення необхідної якості регулювання. Систематизація та узагальнення накопичених знань призвели до створення методів наукового проектування (синтезу) систем із заданими показниками точності регулювання та швидкодії.

Проблема забезпечення необхідних властивостей лінійних автоматичних систем дуже складна. У ній можна виділити такі часткові завдання: забезпечення стійкості (стабілізація); підвищення запасу стійкості (демпфування); підвищення точності регулювання в встановлених режимах (зменшення або усунення статичної помилки відтворення впливу завдання, зменшення або усунення впливу постійних збурень); поліпшення перехідних процесів (збільшення швидкодії, максимальне зменшення динамічних помилок відтворення впливу завдання та збурень).

Іноді кілька окремих завдань можуть бути вирішені спільно, в інших випадках вони виявляються суперечливими. Залежно від призначення системи та вимог, що висуваються до неї, одні завдання стають основними, а інші відсуваються на другий план або знімаються.

Прямі оцінки якості роботи АСР отримують по кривій перехідного процесу $Y(t)$ під час дії одиночної ступінчастої функції

$$g(t) = 1(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } t > 0; \\ 0 & \text{при } t \leq 0, \end{cases} \quad (11.1)$$

за нульових початкових умов.

До прямих оцінок якості відносять:

1. Час регулювання t_p – мінімальний час, після якого регульована величина залишатиметься близькою до значення, що встановилося, із заданою точністю:

$$|Y(t) - Y_0(\infty)| \leq \Delta, \quad (11.2)$$

де Δ – постійна величина, значення якої потрібно обумовлювати (задається величина Δ у відсотках від значення вихідної величини $Y_{уст}$).

Як правило, перехідний процес вважається закінченим, якщо входить до 5% зони постійного значення вихідної величини.

2. Перерегулювання σ – максимальне відхилення перехідної характеристики від значення вихідної величини, що встановилося, виражене у відносних одиницях або відсотках:

$$\sigma = \frac{Y_{MAX1} - Y_{ВИХ}}{Y_{ВИХ}} \cdot 100\%, \quad (11.3)$$

а при перехідному процесі за каналом збурення:

$$\sigma = \frac{Y_{MAX2} - Y_{ВИХ}}{Y_{ВИХ}} \cdot 100\%, \quad (11.4)$$

де Y_{MAX1} , Y_{MAX2} – значення першого та другого максимумів відповідно.

3. Частоту коливань $\omega = 2 \cdot \frac{\pi}{T}$, де T – період коливань для коливальних перехідних характеристик.

4. Число коливань n , яке має перехідна характеристика $Y(t)$ за час регулювання (t_p).

5. Час досягнення першого максимуму t_{MAX} .

6. Час наростання перехідного процесу t_H – абсциса першої точки перетину кривої перехідної характеристики $Y(t)$ з рівнем значення вихідної величини $Y_{уст}$.

7. Декремент згасання ν , рівний відношенню модулів двох суміжних перерегулювань:

$$\nu = \frac{Y_{MAX1} - Y_{ВИХ}}{Y_{MAX2} - Y_{ВИХ}}. \quad (11.5)$$

Розрахунок основних показників оцінки якості роботи АСР витрат пари на вході парового економайзера Е-132 було проведено за допомогою пакету прикладних програм «MatLab» (Додаток Е, програма «Quality_indicators.m»). На рис. 11.1 наведено результати розрахунків.

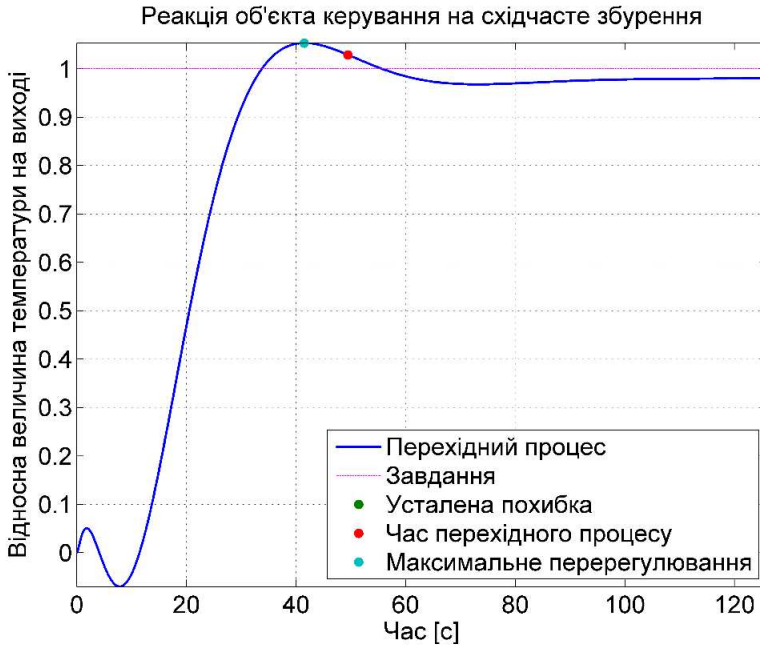


Рисунок 11.1 – Основні показники оцінки якості роботи АСР витрат пари на вході парового економайзера Е-132

Результати моделювання зведені у таблицю 11.1.

Таблиця 11.1 – Основні показники якості роботи АСР витрат пари на вході парового економайзера Е-132

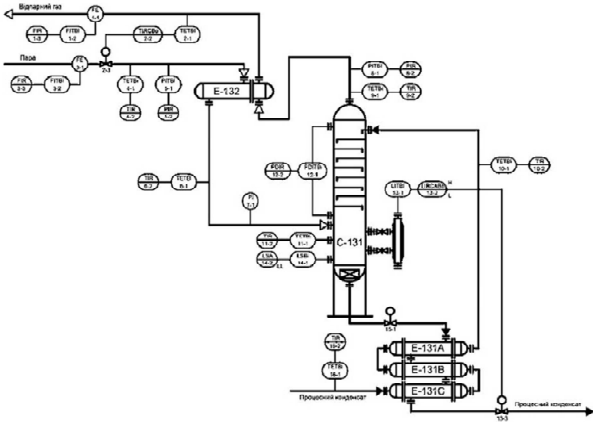
Назва показника якості	Ідентифікатор показника якості	Формула розрахунку	Результат обчислення
Абсолютна усталена помилка	fixed_error	$ Y_{\text{усталене}} - Y_{\text{завдання}} $	0.0193
Відносна усталена помилка	relative_fixed_error	$\frac{ Y_{\text{усталене}} - Y_{\text{завдання}} }{Y_{\text{завдання}}} \cdot 100\%$	1.9334%
Час регулювання	T_transition_process	Момент часу, після якого всі значення відносної величини температури на виході економайзера відхиляються від усталеного значення не більше, ніж на 5%	49.4798 [с]
Абсолютне значення перерегулювання	delta	$ Y_{1 \text{ max}} - Y_{\text{усталене}} $	0.0728
Відносне значення перерегулювання	sigma	$\frac{ Y_{1 \text{ max}} - Y_{\text{усталене}} }{Y_{\text{усталене}}} \cdot 100\%$	7.4198%

Зазначимо, що під час бурхливого розвитку обчислювальної техніки проблеми, пов'язані з розрахунком перехідних процесів і вибором можливих варіацій параметрів системи, істотно зменшуються, тому роль прямих оцінок якості під час проектування АСР зростає.

ВИСНОВОК

Необхідно у короткій формі підбити підсумки виконаної роботи та описати отримані результати.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ



				ПК.09.02 СХ			
Зв.	Лист	№ докум.	Рідк.	Дата	Відпарювання процесного конденсату у виробництві аміаку	Лист	Лист
Розроб.	Гулик О.С.					К	
Перев.	Карпенко І.В.						
Т. констр.						Лист	Лист
Н. констр.					Схема автоматизації		
Вибір							СМЧ № В. Діагр зр. АТД-218

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсової роботи з дисципліни
“АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І
ВИРОБНИЦТВ”

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти
денної та заочної форм навчання
за спеціальностями:

151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

(Електронне видання)

Укладачі:

Петро Йосипович Єлісеєв
Людмила Вікторівна Карпюк

Редактори П. Й. Єлісеєв
 Л. В. Карпюк
Комп'ютерна верстка Л. В. Карпюк

Підписано до друку __.__.202__.

Формат 60x84 1/16. Папір типогр. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. ____. Обл.-вид. арк. ____.

Тираж __ экз. Вид. № ____. Замов. № _____. Ціна договірна.
Видавництво Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.

Адреса університета: вул. Іоанна Павла II., 17

м. Київ, 01042, Україна

e-mail: vidavnictvosnu.ua@gmail.com