БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП-07.00.000.000 ПЗ

Група АКП-21-1

Іванів Борис

2025

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Іванів Борис Петрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.53
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розробка системи автоматизації технологічного процесу термічного крекінгу
(назва роботи)

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(назва освітньої програми)

151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Нормоконтроль
доцент О.В. Кучмистенко
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент
доцент О.В. Кучмистенко
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня
АКП-21-1 Б.П. Іванів
(шифр групи) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Науковий керівник
доцент А.І. Лагойда
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри
доцент А.І. Лагойда
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ - 2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АКІТ
_____А.І. Лагойда.
«__» _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Іваніву Борису Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи автоматизації технологічного процесу термічного крекінгу

керівник роботи Лагойда Андрій Іванович к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 07 » травня 2025 року № 52/8

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи методичні вказівки, технічна література, інтернет-ресурс.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) : Вступ, 1. Аналіз технологічного процесу термічного крекінгу як об'єкта автоматичного контролю і керування,
2. Математичне моделювання і ідентифікація об'єкта керування,
3. Синтез та аналіз АСК ректифікаційної колони,
4. розробка проектної складової САК
загальні висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) схема підключення ТЗА
Лист 1 – Схема установки термічного крекінгу – БР.АКП-07.00.00.000 01
Лист 2 – Функціональна схема автоматизації – БР.АКП-07.00.00.000 02
Лист 3 – Схема підключення ТЗА 1 – БР.АКП-07.00.00.000 03
Лист 4 – Схема підключення ТЗА 2 – БР.АКП-07.00.00.000 04
Лист 5 – Схема підключення ТЗА 3 – БР.АКП-07.00.00.000 05
Лист 6 – Схема підключення ТЗА 4 – БР.АКП-07.00.00.000 06

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 06.11.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу термічного крекінгу	14.05.2025 р.	
2	Математичне моделювання ректифікаційної колони	18.05.2025 р.	
3	Отримання передатних функцій каналів збурення та керування	21.05.2025 р.	
4	Розрахунок параметрів регулятора	23.05.2025 р.	
5	Синтез та аналіз АСК	25.05.2025 р.	
6	Підбір ТЗА	27.05.2025 р.	
7	Розробка проектної складової САК	30.05.2025 р.	

Студент _____ Іванів Б.П
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ Лагойда А.І.
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 49 сторінок друкованого тексту, 26 рисунків, 2 таблиці, 14 переліків посилань на джерела.

Тема: «Розробка системи автоматизації технологічного процесу термічного крекінгу».

Об’єкт дослідження: установка термічного крекінгу.

Мета проекту: розробка схеми автоматизації.

Методи дослідження: аналіз і моделювання технологічного процесу.

Результати бакалаврської роботи: для досягнення заданої мети було проаналізовано установку термічного крекінгу. Обрано параметри контролю та регулювання. Проведено математичне моделювання об’єкта керування. За допомогою програмного пакету Matlab, по експериментальним характеристикам розраховано параметри налаштування регуляторів для АСР. Проведено аналіз показників якості АСР після їх синтезу.

Ключові слова: термічний крекінг, автоматизація, ТЗА, математична модель, ректифікаційна колона.

ABSTRACT

Bachelor's thesis contains: 49 pages of printed text, 26 figures, 2 tables, 14 lists of references to sources.

Topic: "Development of an automation system for the thermal cracking technological process".

Object of research: thermal cracking unit.

Project goal: development of an automation scheme.

Research methods: analysis and modeling of the technological process.

Results of the bachelor's thesis: to achieve the given goal, a thermal cracking unit was analyzed. Control and regulation parameters were selected. Mathematical modeling of the control object was carried out. Using the Matlab software package, the parameters for setting the regulators for the automatic control system were calculated based on the experimental characteristics. The quality indicators of automatic control systems after their synthesis were analyzed.Keywords: thermal cracking, automation, technical means of automation, mathematical model, distillation column.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ..... 9

ВСТУП..... 9

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТЕРМІЧНОГО КРЕКІНГУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ..... 10

1.1 Призначення установки та суть процесу..... 10

1.2 Характеристика продукції, сировини та реагентів..... 11

1.3 Аналіз технологічної схеми установки термічного крекінгу..... 12

1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання..... 14

1.5 Вибір та обґрунтування параметрів контролю і регулювання..... 15

1.6 Вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу..... 16

Висновки до розділу..... 16

2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ..... 17

2.1 Обґрунтування вибору об'єкта автоматизації..... 17

2.2 Визначення характеристик об'єкта автоматизації..... 17

Висновки до розділу..... 23

3. СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ АСК РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ..... 24

3.1. Синтез одноконтурної САК..... 24

3.2 Синтез ефективних АСР..... 28

3.3 Аналіз роботи розроблених АСР..... 30

Висновки до розділу..... 30

4. РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ СКЛАДОВОЇ САК..... 31

4.1 Вибір технічних засобів автоматизації..... 31

4.2. Розробка функціональної схеми автоматизації..... 39

Висновки до розділу 46
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ..... 47
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА 48

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

F – витрата;

t – температура;

Q – кількість тепла;

c – теплоємність;

ρ – густина;

V – об’єм;

ПІ – регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор;

s – площа поверхні теплообміну;

ВМ – виконавчий механізм;

ТЗА – технічні засоби автоматизації;

САК – система автоматичного керування;

АСК – автоматизована система контролю.

ВСТУП

Термічний крекінг є одним з найстаріших та найпростіших серед процесів переробки нафти. На відмінну від каталітичного крекінгу де окрім температури та тиску потрібно використовувати різні каталізаторів, кількість видів яких визначається сотнями, та обладнання яке підходить для каталітичного крекінгу з обраним каталізатором, що інколи не дає змоги перейти на іншу сировину або змінити масову частку вихідної продукції без заміни частини обладнання. Сам процес каталітичного крекінгу також набагато швидший за процес термічного крекінгу, тому час контакту сировини з каталізатором також має значний вплив на продукцію, все вирішується буквально в долі секунди, неправильно налаштовані керуючі пристрої можуть стати причиною значної різниці між розрахованою та отриманою продукцією. Продукція термічного крекінгу керується всього трьома параметрами: температурою, тиском та сировиною. Тобто, найбільшою різницею між термічним і каталітичним крекінгом є те, що один є універсальним з середньою продуктивністю і хорошою стійкістю до зміни складу сировини, а інший є дуже спеціалізованим з високою продуктивністю але навіть незначні зміни в декілька процентів в складі сировини можуть призвести до збурень в процесі крекінгу.

Ця робота може бути актуальною для тих хто планує зайнятися переробкою нафти, але не вирішив яку спеціалізацію обрати, або не має досвідчених спеціалістів які можуть керувати каталітичним крекінгом.

В даній роботі розглядається система автоматизації технологічного процесу термічного крекінгу. Основним апаратом, що розглядається є ректифікаційна колона, яка є невід’ємною частиною всього процесу.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТЕРМІЧНОГО КРЕКІНГУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ

1.1 Призначення установки та суть процесу

Установка термічного крекінгу складається з ректифікаційних колон, печей для нагріву сировини, теплообмінників, реакційних камер або реакторів та сепараторів і призначена для проведення процесу крекінгу та розділення суміші компонентів які утворюються в цьому процесі.

Суть процесу крекінгу полягає в розщепленні С-С зв'язку високомолекулярних вуглеводнів (C_5 і вище) і утворенні C_4-C_2 вуглеводнів за допомогою високих температур. Цей процес носить назву гомоліз і його результатом є утворення радикалів. Існує декілька видів термічного крекінгу: рідиннофазномий (тиск 2–7 МПа, температура 450–540 °С), парофазний (тиск 0,2–0,6 МПа, температура 550–600 °С), піроліз (температура 700–900 °С або вище) та вісбрекінг(тиск 0,5–3,0 МПа, температура 440–500 °С).

Головною різницею між рідиннофазним та парофазним крекінгом є те, що вихід газу при рідиннофазному крекінгу 5-6%, а при парофазному – 25-30 %. В газах рідиннофазного крекінгу більше алканів і менше ненасичених вуглеводнів, а в газах парофазного крекінгу – навпаки.

Піроліз – основний спосіб отримання алкенів – етилену та пропілену. Майже 100% світового виробництва етилену та майже 67% пропілену отримуються за допомогою піролізу. Також піроліз є основним джерелом отримання дивінілу, бутадієну та бензолу.

Вісбрекінг застосовують для зниження в'язкості залишків вакуумної перегонки, інколи як сировину можуть використовувати мазут для отримання товарних котельних палив. Продуктами вісбрекінгу є газ та бензин в незначних кількостях, керосино-газойлева фракція (50-55%) та крекінг-залишок який використовується як котельне паливо, має нижчу температуру застигання і в'язкість, вищу теплоту згорання, ніж прямогонний мазут.

1.2 Характеристика продукції, сировини та реагентів

Характеристика продукції, сировини та реагентів:

1. Алкани. Насичені вуглеводні. Загальна формула C_nH_{2n+2}. За агрегатним станом алкани можуть бути газоподібні (C_1-C_4), рідкі (C_5-C_{17}) і тверді (C_{18} і вище). Зі збільшенням кількості атомів масова теплота згоряння алканів зменшується. Більшість хімічних реакцій починаються з розриву зв'язку С-Н, а під дією високих температур спочатку йде розрив С-С зв'язку. В процесі термічного крекінгу утворюються ненасичені вуглеводні.

2. Алкени. Ненасичені вуглеводні. Загальна формула C_nH_{2n}(при $n\geq2$). За агрегатним станом лінійні алкени можуть бути газоподібні (C_2-C_4), рідкі (C_5-C_{16}) і тверді (C_{17} і вище). Багато фізичних властивостей алкенів і алканів схожі. В процесі термічного крекінгу утворюються ненасичені вуглеводні, або водень та алкадієн.

3. Алкіни. Ненасичені вуглеводні. Загальна формула C_nH_{2n-2}(при $n\geq2$). За агрегатним станом лінійні алкени можуть бути газоподібні (C_2-C_4), рідкі (C_4-C_{17}) і тверді (C_{18} і вище).

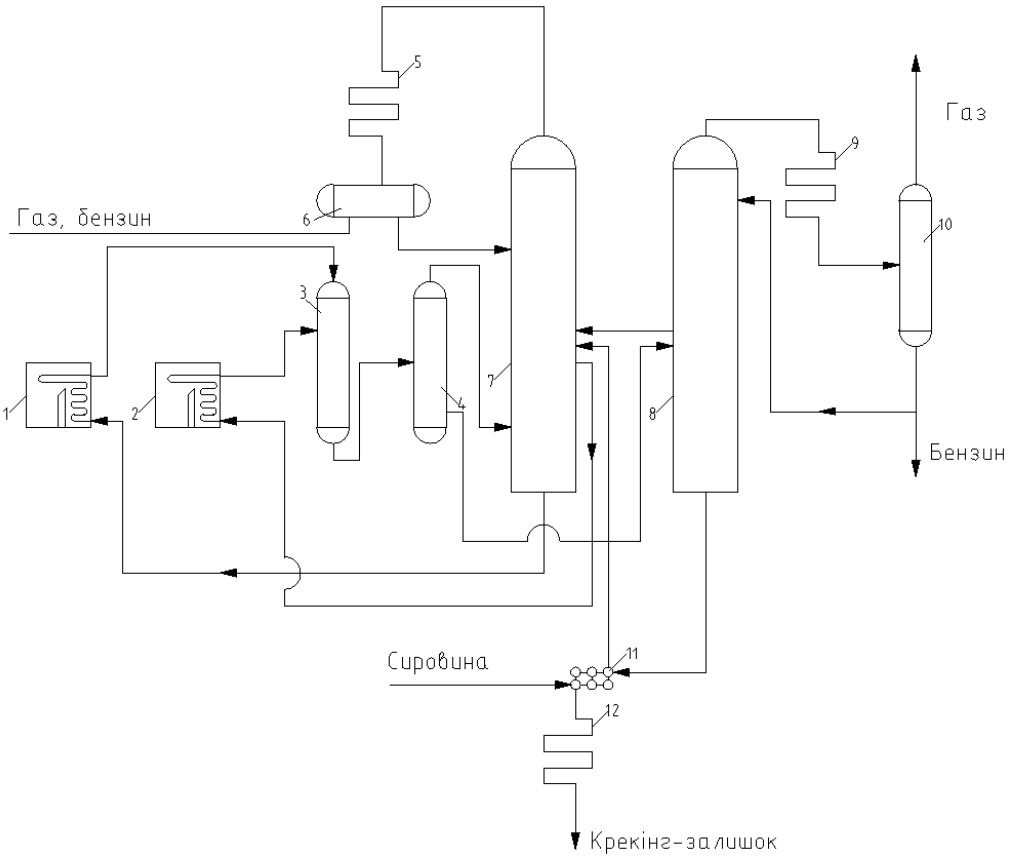
4. Циклоалкани або нафтени. Вуглеводні з одним чи кількома вуглецевими циклами. Загальна формула C_nH_{2n} або $(CH_2)_n$. В загальному схожі на відповідні алкани, але мають більші густини і трохи вищі температури плавлення та кипіння.

5. Арени. Найбільш стійкі до дії високих температур, тому можуть накопичуватися в продуктах крекінгу. Найбільш використовуваним ареном є бензен, його застосовують для створення інсектицидів, розчинників, ліків, барвників, синтетичних волокон, поліестерів, пластмас, синтетичних каучуків. До 50% бензену виробляється за допомогою піролізу. Разом із бензеном утворюються толуол та ксилоли.

6. Крекінг-залишок. Рідини з густиною порядку 1,0 г/см³, які складаються з висококонденсованих ароматичних і гідридних сполук. Вони використовуються як сировина для коксування і котельного палива.

7. Крекінг-бензини. Безбарвні чи жовтуватого кольору рідини з неприємним запахом через наявність сірчистих сполук і діолефінів. Від бензинів прямого перегону вони відрізняються значним вмістом ненасичених і ароматичних вуглеводнів і малим вмістом нафтенів.

1.3 Аналіз технологічної схеми установки термічного крекінгу



1, 2 – трубчасті печі; 3 – реакційна камера; 4 – випарник високого тиску; 5, 9, 12 – холодильник-конденсатор; 6 – газосепаратор високого тиску; 7,8 – ректифікаційні колони; 10 – газосепаратор низького тиску; 11 – теплообмінник.

Рисунок 1.1 - Схема установки термічного крекінгу

Сировину подають в теплообмінник-рекуператор 11, звідки вона поступає у ректифікаційну колону 7 при температурі 275-320°С.

З верхньої частини колони 7 газ при температурі 190-210°С поступає у холодильник-конденсатор 5 і в сепаратор високого тиску 6, де розділяється на газ, що подається на склад і бензин, який частково подається на склад, а частково

на зрошення верхньої тарілки колони 7.

З нижньої частини колони 7 кубовий залишок подається в піч 1. Сировина розігрівається до температури 460-490°С, тиск – 4.5-5.5 МПа, і подається в реакційну камеру 3. Тиск у реакційній камері 3 1.5-2.5 МПа, температура 465-500°С. З камери 3 продукція поступає в випарник високого тиску 4, температура 410-430°С, тиск 0.8-1.3 МПа.

З верхньої частини випарника 4 гази поступають в нижню частину колони 7. З нижньої частини випарника 4 продукція поступає на ректифікаційну колону 8.

З середини колони 7 сировина поступає в піч 2, де підігрівається до температури 540-550°С, тиск 2.2-2.8 МПа і подається на реакційну камеру 3.

З верхньої частини колони 8 при температурі 190-200 відбирається газ, який охолоджується в холодильнику 9 і подається на сепаратор низького тиску 10. Газ, що не сконденсувався відбирається на склад. Газойль частково подається на склад, а частково на зрошення верхньої тарілки колони 8. Балансову кількість нафтопродукту відбирають з середньої частини колони 8 і подається в колону 7.

З нижньої частини колони 8 крекінг-залишок спочатку подається на теплообмінник 12, а потім на холодильник 13, після цього охолоджений продукт поступає на склад.

В якості сировини використовуються дистиляти (світлі фракції нафти): бензинова, лігроїнова, гасова та дизельна фракції.

Показники технологічного режиму процесу переробки нафтового дистиляту приведені в табл. 1.1

Таблиця 1.1 − Показники технологічного процесу переробки нафтового дистиляту

Назва параметра	Умовне позначення	Значення	Розмірність
Витрата дистиляту	$F_Д$	1280	$м^3$/год
Теплоємність дистиляту	$c_Д$	3.670	кДж/(кг·К)

Продовження таблиці 1.1

Температура дистиляту	$t_Д$	293	К
Витрата кубового залишку	$F_К$	930	$м^3$/год
Теплоємність кубового залишку	$c_Р$	2.9	кДж/(кг·К)
Температура кубового залишку	$t_{Р1}$	488	К
Температура рециркуляту	$t_{Р2}$	500	К
Витрата рециркуляту	$F_Р$	803	$м^3$/год
Теплоємність рециркуляту	$c_Р$	2.9	кДж/(кг·К)
Витрата флегми	$F_Ф$	268	$м^3$/год
Теплоємність флегми	$c_Ф$	3.26	кДж/(кг·К)
Температура флегми	$t_Ф$	310	К
Витрата пари суміші	$F_П$	452	$м^3$/год
Температура пари суміші	$t_П$	340	К
Теплоємність пари суміші	$c_П$	3.260	кДж/(кг·К)

1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання

Трубчаста піч. Промислова піч призначена для нагрівання матеріалів з метою їх фізико-хімічної обробки. Використовується для отримання матеріалів високої температури при безперервному процесі.

Реакційна камера. Технологічний апарат для проведення хімічних реакцій, що супроводжуються явищами масо- і теплообміну.

Холодильник. Технологічний апарат який використовується для охолодження матеріалів.

Ректифікаційна колона. Циліндрична конструкція з контактними пристроями всередині, призначена для розділення рідких сумішей, складові яких

мають різну температуру кипіння.

Випарник. Теплообмінник, в якому відбувається обмін теплової енергії між рідиною і парами газу.

Сепаратор. Технологічний апарат, призначений для розділення певного продукту на фракції з різними фізичними або хімічними характеристиками — за густиною, магнітними, електричними або іншими властивостями.

1.5 Вибір та обґрунтування параметрів контролю і регулювання

В ході процесу термічного крекінгу контролю підлягають наступні параметри: температура в печі 1 460-490°C, тиск в печі 1 4.5-5.5 МПа, температура в печі 2 540-550°C, тиск в печі 2 2.2-2.8 МПа, температура в реакційній камері 3 465-500°C, тиск в реакційній камері 1.5-3, температура в випарнику високого тиску 4 410-430°C, тиск в випарнику високого тиску 0.8-1.3 МПа, температура сировини з теплообмінника 11 275-320°C. В ході процесу термічного крекінгу регулюванню підлягають наступні параметри: потік флегми в ректифікаційну колону 7, потік флегми в ректифікаційну колону 8.

Таблиця 1.2. – Параметри контролю і регулювання

№ п/п	Назва технологічного об’єкту	Назва параметру	Значення
1	Піч 1	Температура	460-490°C
2	Піч 1	Тиск	4.5-5.5 МПа
3	Піч 2	Температура	540-450°C
4	Піч 2	Тиск	2.2-2.8 МПа
5	Реакційна камера 3	Температура	465-500°C
6	Реакційна камера 3	Тиск	1.5-3 МПа
7	Випарник високого тиску	Температура	410-430°C
8	Випарник високого тиску	Тиск	0.8-1.3 МПа
9	Сировина після теплообмінника 11	Температура	275-300°C

1.6 Вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу

Сучасні методи автоматизації виробництва охоплюють широкий спектр технологій та систем, спрямованих на підвищення ефективності, продуктивності та якості.

Основними методами автоматизації є: автоматизація виробничих процесів (APS), промислова робототехніка, інтерфейси людини-машини (HMI), системи управління виробництвом (MES), системи управління ресурсами підприємства (ERP) та SCADA-системи.

В даній роботі буде використовуватися метод автоматизації за допомогою SCADA-системи, але сама SCADA-система розроблятися не буде.

Висновки до розділу

В даному розділі було проаналізовано призначення установки, суть процесу, продукцію, сировину, технологічну схему та обладнання термічного крекінгу, обрано параметри контролю та регулювання технологічним процесом.

2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1 Обґрунтування вибору об'єкта автоматизації

Об'єктом керування обрано ректифікаційну колону, оскільки саме в колоні відбувається процес розділення суміші на компоненти, що є основою переробки нафтового дистиляту.

2.2 Визначення характеристик об'єкта автоматизації

На рис. 2.1. зображено спрощену схему ректифікаційної колони, а також вхідні і вихідні потоки для апарату.

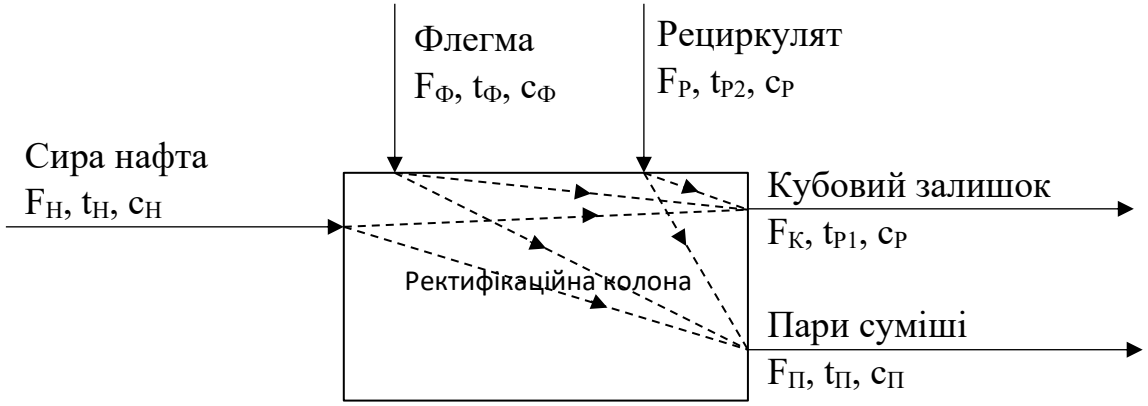


Рисунок 2.1 – Спрощена схема ректифікаційної колони

Матеріальний баланс апарату:

$$F_{\text{Н}} + F_{\Ф} + F_{\text{Р2}} - F_{\text{Р1}} - F_{\text{П}} = 0,$$

де $F_Н$ – витрата сирої нафти;

$F_Ф$ – витрата флегми, що подається в колону ректифікації;

$F_{Р2}$ – витрата рециркуляту, що поступає в колону;

$F_{Р1}$ – витрата кубового залишку, що виходить з колони.

$F_П$ – витрата парів суміші, що виходять з колони.

Оскільки основним параметром для проведення процесу є температура, то як основу опису процесу розглядаємо тепловий баланс.

Тепловий баланс:

$$Q_{\text{Н}} - Q_{\text{Р1}} + Q_{\text{Р2}} - \Delta Q_{KS} - Q_{ZS} - Q_{\text{ПР}} = 0, \qquad (2.1)$$

де $Q_Н$ – кількість тепла з вхідним потоком дистиляту, $Q_Н = F_Н c_Н t_Н$;

$Q_{Р1}$ – кількість тепла з вихідним потоком кубового залишку, $Q_{Р1} = F_Р c_Р t_{Р1}$;

$Q_{Р2}$ – кількість тепла з вхідним потоком рециркуляту, $Q_{Р2} = F_Р c_Р t_{Р2}$;

ΔQ_{KS} – кількість тепла передана від нагрівача до маси суміші, $\Delta Q_{KS} = F_1 s_1 (t_{Р1} - t_Ф)$;

Q_{ZS} – кількість втрат тепла в оточуюче середовище, $Q_{ZS} = 0.2 F_Р c_Р t_{Р2}$;

$Q_{ПР}$ – кількість тепла, витраченого на процес, $Q_{ПР} = (F_Н c_Н t_Н + F_Р c_Р t_{Р2}) q_1$;

$$Q_Ф - Q_П + \Delta Q_{KS} = 0, \tag{2.2}$$

де $Q_Ф$ – кількість тепла, внесеного в колону флегмою, $Q_Ф = F_Ф c_Ф t_Ф$;

$Q_П$ – кількість тепла, що виноситься з колони з парою суміші, $Q_П = F_П c_П t_П$;

Статичний режим об'єкта представлений рівняннями (2.1) та (2.2):

$$Q_Н - Q_{Р1} + Q_{Р2} - \Delta Q_{KS} - Q_{ZS} - Q_{ПР} = 0,$$

$$Q_Ф - Q_П + \Delta Q_{KS} = 0.$$

Перепишемо рівняння розписавши усі елементи:

$$F_Н c_Н t_Н - F_Р c_Р t_{Р1} + F_Р c_Р t_{Р2} - F_1 s_1 (t_{Р1} - t_Ф) - 0.2 F_Р c_Р t_{Р2} - \\ -(F_Н c_Н t_Н + F_Р c_Р t_{Р2}) q_1 = 0, \tag{2.3}$$

$$F_Ф c_Ф t_Ф - F_П c_П t_П + F_1 s_1 (t_{Р1} - t_Ф) = 0. \tag{2.4}$$

Динамічний режим об'єкта для нижньої частини колони представлений рівнянням (2.5):

$$Q_Н - Q_{Р1} + Q_{Р2} - \Delta Q_{KS} - Q_{ZS} - Q_{ПР} = V_Р c_Р \rho_Р \frac{dt_{Р_1}}{d\tau}, \tag{2.5}$$

де $V_Р$ = 9 м^3 – об'єм сировини в колоні ректифікації;

$c_Р$ = 3.670 кДж/(кг·К) – теплоємність сировини в колоні ректифікації;

$\rho_Р$ = 850 кг/м^3 – густина сировини в колоні ректифікації;

Динамічний режим об'єкта для верхньої частини колони представлений рівнянням (2.6):

$$Q_Ф - Q_П + \Delta Q_{KS} = V_Ф c_Ф \rho_Ф \frac{dt_Ф}{d\tau}, \tag{2.6}$$

$V_Ф$ = 5 м^3 – об'єм флегми в колоні ректифікації;

$c_Ф$ = 3.26 кДж/(кг · К) – теплоємність флегми в колоні ректифікації;

$\rho_Ф$ = 634 кг/м^3 – густина флегми в колоні ректифікації;

Розпишемо всі складові рівняння динаміки (2.5) для нижньої частини колони ректифікації:

$$F_Н c_Н t_Н - F_Р c_Р t_{Р1} + F_Р c_Р t_{Р2} - F_1 s_1 (t_{Р1} - t_Ф) - 0.2 F_Р c_Р t_{Р2} -$$

$$-(F_Н c_Н t_Н + F_Р c_Р t_{Р2}) q_1 = V_P c_P \rho_P \frac{dt_{P_1}}{d\tau},$$

Лінеаризація рівняння динаміки для нижньої частини колони:

$$\Delta F_Н c_Н t_Н + F_Н c_Н \Delta t_Н - \Delta F_Р c_Р t_{Р1} - F_Р c_Р \Delta t_{Р1} + \Delta F_Р c_Р t_{Р2} + F_Р c_Р \Delta t_{Р2} -$$

$$-F_1 s_1 (\Delta t_{Р1} - \Delta t_Ф) - 0.2 \Delta F_Р c_Р t_{Р2} - 0.2 F_Р c_Р \Delta t_{Р2} -$$

$$-(F_Н c_Н \Delta t_Н + F_Р c_Р \Delta t_{Р2}) q_1 = V_P c_P \rho_P \frac{d\Delta t_{P_1}}{d\tau},$$

Виконаємо перетворення Лапласа:

$$F_Н(p) c_Н t_Н + F_Н c_Н t_Н(p) - F_Р(p) c_Р t_{Р1} - F_Р c_Р t_{Р1}(p) + F_Р(p) c_Р t_{Р2} +$$

$$+F_Р c_Р t_{Р2}(p) - F_1 s_1 \big(t_{Р1}(p) - t_Ф(p)\big) - 0.2 F_Р(p) c_Р t_{Р2} - 0.2 F_Р c_Р t_{Р2}(p) -$$

$$-\big(F_Н c_Н t_Н(p) + F_Р c_Р t_{Р2}(p)\big) q_1 = V_P c_P \rho_P p t_{Р1}(p), \quad (2.7)$$

Повторюємо для рівняння динаміки верхньої частики ректифікаційної колони:

$$F_Ф c_Ф t_Ф - F_П c_П t_П + F_1 s_1 (t_{Р1} - t_Ф) = V_Ф c_Ф \rho_Ф \frac{dt_Ф}{d\tau},$$

$$\Delta F_Ф c_Ф t_Ф + F_Ф c_Ф \Delta t_Ф - \Delta F_П c_П t_П - F_П c_П \Delta t_П + F_1 s_1 (\Delta t_{Р1} - \Delta t_Ф) = V_Ф c_Ф \rho_Ф \frac{d\Delta t_Ф}{d\tau},$$

$$F_Ф(p) c_Ф t_Ф + F_Ф c_Ф t_Ф(p) - F_П(p) c_П t_П - F_П c_П t_П(p) + F_1 s_1 \big(t_{Р1}(p) -$$

$$t_Ф(p)\big) = V_Ф c_Ф \rho_Ф p t_Ф(p). \quad (2.8)$$

З рівняння (2.7) виражаємо температуру флегми $t_Ф$ та підставляємо в рівняння (2.8). Отримаємо:

$$t_Ф(p) = \frac{F_Ф(p) c_Ф t_Ф - F_П(p) c_П t_П - F_П c_П t_П(p) + F_1 s_1 t_{Р1}(p)}{V_Ф c_Ф \rho_Ф p - F_Ф c_Ф + F_1 s_1},$$

$$F_Н(p) c_Н t_Н + F_Н c_Н t_Н(p) - F_Р(p) c_Р t_{Р1} - F_Р c_Р t_{Р1}(p) + F_Р(p) c_Р t_{Р2} +$$

$$+F_Р c_Р t_{Р2}(p) - F_1 s_1 \left(t_{Р1}(p) - \frac{F_Ф(p) c_Ф t_Ф - F_П(p) c_П t_П - F_П c_П t_П(p) + F_1 s_1 t_{Р1}(p)}{V_Ф c_Ф \rho_Ф p - F_Ф c_Ф + F_1 s_1}\right) -$$

$$-0.2 F_Р(p) c_Р t_{Р2} - 0.2 F_Р c_Р t_{Р2}(p) - \big(F_Н c_Н t_Н(p) + F_Р c_Р t_{Р2}(p)\big) q_1 = V_P c_P \rho_P p t_{Р1}(p).$$

(2.9)

В якості каналу керування розглянемо витрату флегми, усі інші канали будуть збуреннями.

Розглянемо канал керування $F_Ф \rightarrow t_{Р1}$. Спрощуємо рівняння (2.9):

$$V_P c_P \rho_P p t_{Р1}(p) + F_Р c_Р t_{Р1}(p) + F_1 s_1 t_{Р1}(p) = F_1 s_1 \frac{F_Ф(p) c_Ф t_Ф + F_1 s_1 t_{Р1}(p)}{V_Ф c_Ф \rho_Ф p - F_Ф c_Ф + F_1 s_1}.$$

(2.10)

Зведемо рівняння (2.10) до канонічної форми та введемо позначення:

$$\frac{V_P c_P \rho_P V_Ф c_Ф \rho_Ф}{(F_Р c_Р + F_1 s_1)(F_1 s_1 - F_Ф c_Ф) - {F_1}^2 {s_1}^2} \cdot p^2 t_{Р1}(p) +$$

$$+ \frac{V_P c_P \rho_P (F_1 s_1 - F_Ф c_Ф) + (F_1 s_1 t_{Р1} + F_1 s_1) V_Ф c_Ф \rho_Ф}{(F_Р c_Р + F_1 s_1)(F_1 s_1 - F_Ф c_Ф) - {F_1}^2 {s_1}^2} \cdot p t_{Р1}(p) + t_{Р1}(p) =$$

$$= \frac{F_1 s_1 c_Ф t_Ф}{(F_Р c_Р + F_1 s_1)(F_1 s_1 - F_Ф c_Ф) - {F_1}^2 {s_1}^2} \cdot F_Ф(p),$$

де

$$A = \frac{V_P c_P \rho_P V_Ф c_Ф \rho_Ф}{(F_Р c_Р + F_1 s_1)(F_1 s_1 - F_Ф c_Ф) - {F_1}^2 {s_1}^2} = 3.843$$

$$B = \frac{V_P c_P \rho_P (F_1 s_1 - F_Ф c_Ф) + (F_1 s_1 t_{Р1} + F_1 s_1) V_Ф c_Ф \rho_Ф}{(F_Р c_Р + F_1 s_1)(F_1 s_1 - F_Ф c_Ф) - {F_1}^2 {s_1}^2} = 219.6387$$

$$C_1 = \frac{F_1 s_1 c_Ф t_Ф}{(F_Р c_Р + F_1 s_1)(F_1 s_1 - F_Ф c_Ф) - {F_1}^2 {s_1}^2} = 0.7182$$

Отримали рівняння:

$$A p^2 t_{Р1}(p) + B p t_{Р1}(p) + t_{Р1}(p) = C_1 F_Ф(p),$$

Передавальна функція каналу $F_Ф \rightarrow t_{Р1}$ має вигляд:

$$W_{F_ф \rightarrow t_{P_1}}(p) = \frac{t_{Р1}(p)}{F_Ф(p)},$$

$$W_{F_ф \rightarrow t_{P_1}}(p) = \frac{C_1}{Ap^2 + Bp + 1} = \frac{0.7182}{3.843p^2 + 219.6387p + 1}. \quad (2.11)$$

На рис. 2.2 зображено перехідну функцію каналу керування $F_Ф \rightarrow t_{Р1}$.

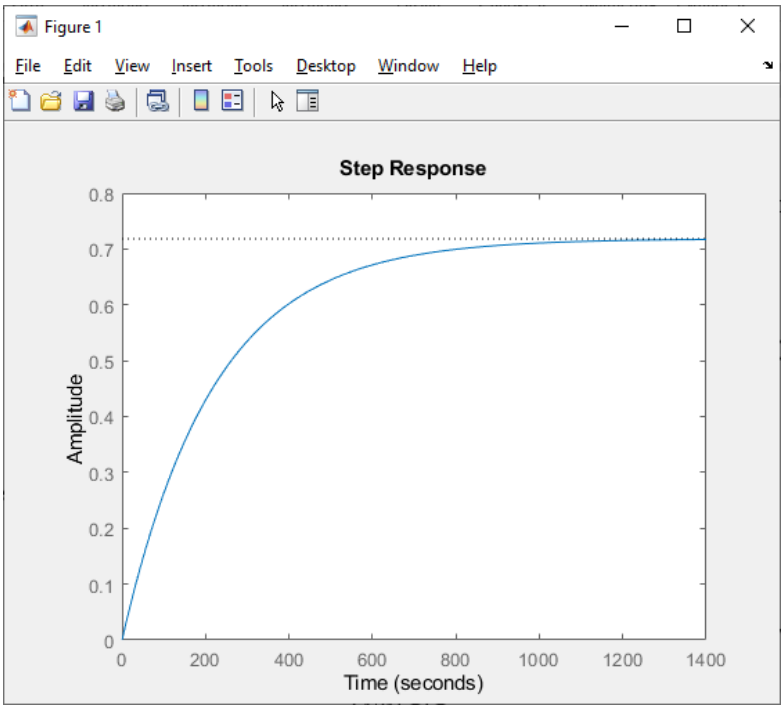


Рисунок 2.2 - Перехідна функція каналу керування $F_Ф \rightarrow t_{P1}$

Розглянемо канал збурення $F_П \rightarrow t_{P1}$. Спрощуємо рівняння (2.9):

$$V_P c_P \rho_P p t_{P1}(p) + F_P c_P t_{P1}(p) + F_1 s_1 t_{P1}(p) = \frac{-F_П(p) c_П t_П + F_1 s_1 t_{P1}(p)}{V_Ф c_Ф \rho_Ф p - F_Ф c_Ф + F_1 s_1}. \qquad (2.12)$$

Зведемо рівняння (2.12) до канонічної форми та введемо позначення:

$$\frac{V_P c_P \rho_P V_Ф c_Ф \rho_Ф}{(F_P c_P + F_1 s_1)(F_1 s_1 - F_Ф c_Ф) - {F_1}^2 {s_1}^2} \cdot p^2 t_{P1}(p) +$$

$$+ \frac{V_P c_P \rho_P (F_1 s_1 - F_Ф c_Ф) + (F_1 s_1 t_{P1} + F_1 s_1) V_Ф c_Ф \rho_Ф}{(F_P c_P + F_1 s_1)(F_1 s_1 - F_Ф c_Ф) - {F_1}^2 {s_1}^2} \cdot p t_{P1}(p) + t_{P1}(p) =$$

$$= \frac{-F_1 s_1 c_П t_П}{(F_P c_P + F_1 s_1)(F_1 s_1 - F_Ф c_Ф) - {F_1}^2 {s_1}^2} \cdot F_П(p),$$

де

$$C_2 = \frac{-F_1 s_1 t_П c_П}{(F_P c_P + F_1 s_1)(F_1 s_1 - F_Ф c_Ф) - {F_1}^2 {s_1}^2}.$$

Отримали рівняння:

$$A p^2 t_{P1}(p) + B p t_{P1}(p) + t_{P1}(p) = C_2 F_П(p).$$

Передавальна функція каналу $F_П \rightarrow t_{P1}$ має вигляд:

$$W_{F_П \rightarrow t_{P_1}}(p) = \frac{t_{P1}(p)}{F_П(p)},$$

$$W_{F_П \to t_{P_1}}(p) = \frac{C_2}{Ap^2+Bp+1} = \frac{-0.7878}{3.843p^2+219.6387p+11}. \quad (2.13)$$

На рис. 2.3 зображено перехідну функцію каналу збурення $F_П \to t_{Р1}$.

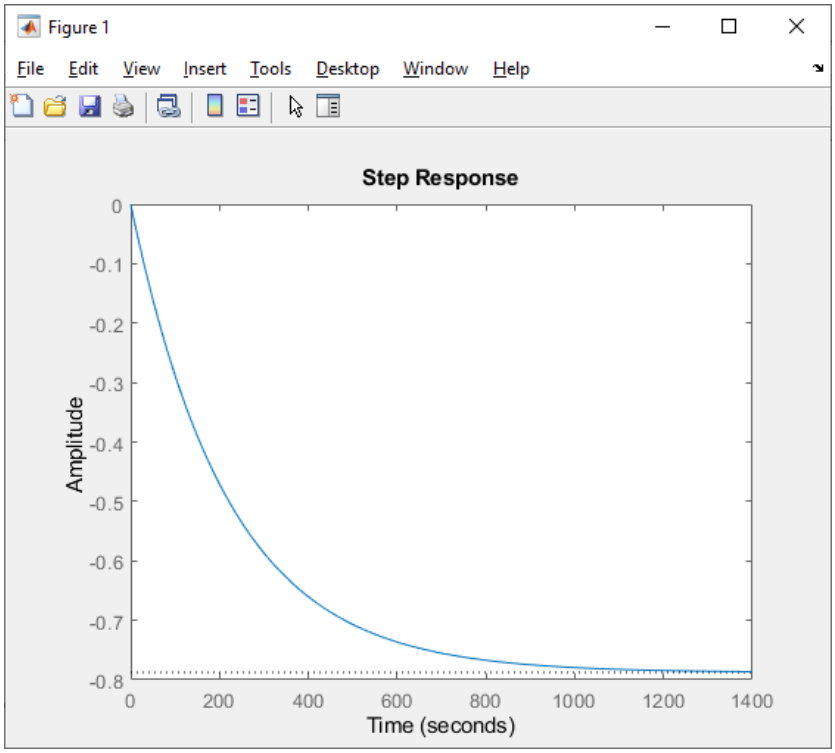


Рисунок 2.3 - Перехідна функція каналу збурення $F_П \to t_{Р1}$

Розглянемо канал збурення $t_П \to t_{Р1}$. Спрощуємо рівняння (2.9):

$$V_P c_P \rho_P p t_{Р1}(p) + F_Р c_Р t_{Р1}(p) + F_1 s_1 t_{Р1}(p) = \frac{-F_П c_П t_П(p) + F_1 s_1 t_{Р1}(p)}{V_Ф c_Ф \rho_Ф p - F_Ф c_Ф + F_1 s_1}. \quad (2.14)$$

Зведемо рівняння (2.14) до канонічної форми та введемо позначення:

$$\frac{V_P c_P \rho_P V_Ф c_Ф \rho_Ф}{(F_Р c_Р + F_1 s_1)(F_1 s_1 - F_Ф c_Ф) - {F_1}^2 {s_1}^2} \cdot p^2 t_{Р1}(p) +$$

$$+ \frac{V_P c_P \rho_P (F_1 s_1 - F_Ф c_Ф) + (F_1 s_1 t_{Р1} + F_1 s_1) V_Ф c_Ф \rho_Ф}{(F_Р c_Р + F_1 s_1)(F_1 s_1 - F_Ф c_Ф) - {F_1}^2 {s_1}^2} \cdot p t_{Р1}(p) + t_{Р1}(p) =$$

$$= \frac{-F_1 s_1 c_П t_П}{(F_Р c_Р + F_1 s_1)(F_1 s_1 - F_Ф c_Ф) - {F_1}^2 {s_1}^2} \cdot F_П(p),$$

де

$$C_3 = \frac{-F_1 s_1 F_П c_П}{(F_Р c_Р + F_1 s_1)(F_1 s_1 - F_Ф c_Ф) - {F_1}^2 {s_1}^2} = -1.0473$$

Отримали рівняння:

$$Ap^2 t_{Р1}(p) + Bp t_{Р1}(p) + t_{Р1}(p) = C_2 F_П(p).$$

Передавальна функція каналу $t_П \rightarrow t_{P1}$ має вигляд:

$$W_{F_П \rightarrow t_{P_1}}(p) = \frac{t_{P1}(p)}{t_П(p)},$$

$$W_{F_П \rightarrow t_{P_1}}(p) = \frac{C_3}{Ap^2+Bp+1} = \frac{-1.0473}{3.843p^2+219.6387p+1}. \quad (2.15)$$

На рис. 2.4 зображено перехідну функцію каналу збурення $t_П \rightarrow t_{P1}$.

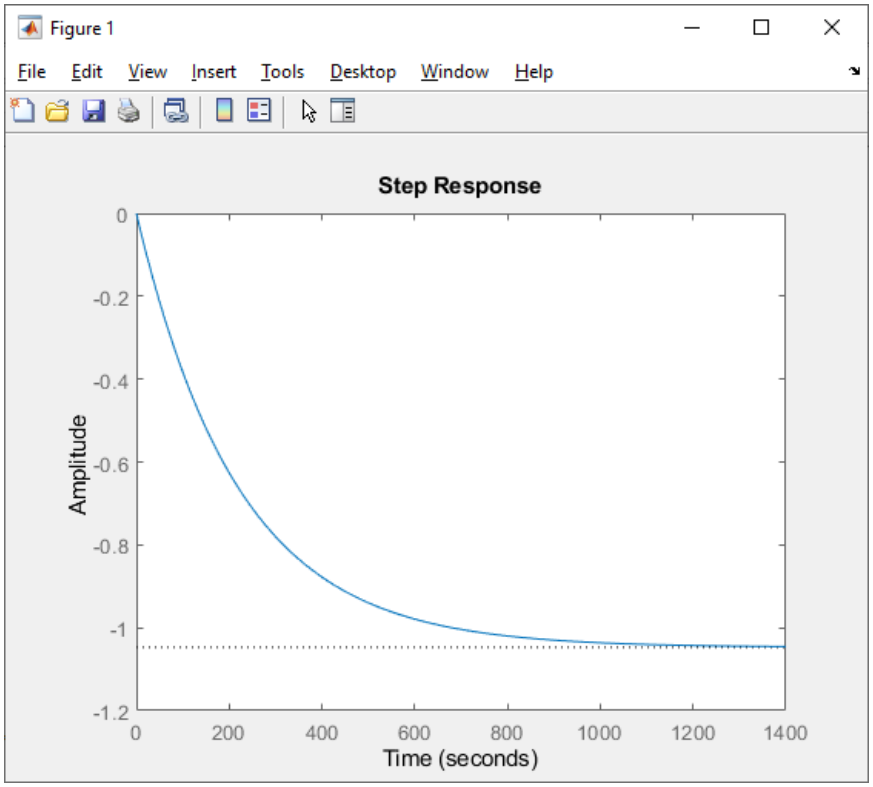


Рисунок 2.4 - Перехідна функція каналу збурення $t_П \rightarrow t_{P1}$

Висновки до розділу

В даному розділі було обрано об'єкт керування, створено його математичну модель, розраховано передавальні функції каналу керування та каналів збурення.

3. СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ АСК РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ

3.1. Синтез одноконтурної САК

Перед синтезом САК потрібно розрахувати параметри регулятора. В якості регулятора використаємо ПІ-регулятор. Параметри регулятора будемо розраховувати за допомогою метода М-кола. Розрахунки будуть проводитися в середовищі Matlab.

ПІ – регулятор має два параметра налаштування: коефіцієнт передачі регулятора K_p та постійна інтегрування T_i. Регулятор з об'єктом керування складають замкнену систему. Для того, щоб знайти коефіцієнти настройки ПІ – регулятора на заданий показник коливності спочатку потрібно знайти передатну функцію розімкненої системи та побудувати в одній системі координат АФХ розімкненої системи та М – коло.

Центр та радіус М кола:

$$C = \frac{M^2}{M^2 - 1},$$

$$R = \frac{M}{M^2 - 1}.$$

Побудуємо М-коло та годограф АФХ розімкненої системи . Для початку задаємо довільні початкові параметри ПІ-регулятора та з'єднаємо регулятор із об'єктом керування за допомогою функції series.

Код, що реалізує даний алгоритм:

```
%% M-circle
Kp = 4;
Ti = 20;
p = tf('p');
C = Kp*(1 + 1/(Ti*p));
sys_open = series(C, pade(WFftp1, 1))
M = 1.3;
R = M/(M^2-1)
```

```
C = M^2/(M^2-1)
Centr = [-C; 0];
t = [0:pi/180:2*pi];
x = R*cos(t) + Centr(1);
y = R*sin(t) + Centr(2);
plot(x,y);
hold on
Wbeg = 0.01;
Wend = 2;
w = Wbeg:0.01:Wend;
H = freqresp(sys_open, w);
plot(H(:))
grid on
```

Результати виконання написаної програми зображені на рис. 3.1.

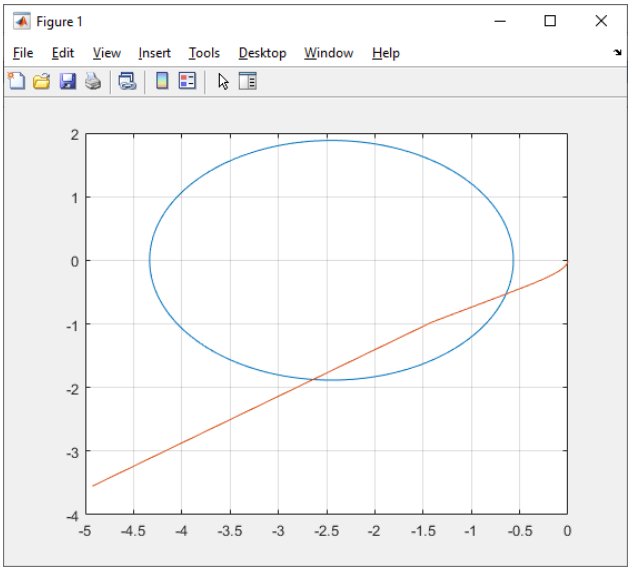


Рисунок 3.1 - Графічна інтерпретація ітеративного настроювання параметрів регулятора за методом М-кола

Далі методом підбору необхідно отримати такі параметри регулятора при котрих годограф АФХ дотикається до М кола.

Результати дослідження представлені на рисунку 3.2

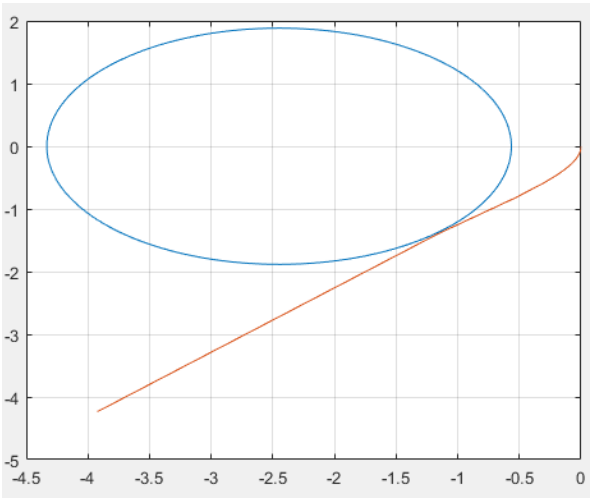


Рисунок 3.2 - Графічна інтерпретація ітеративного настроювання параметрів регулятора за методом М-кола

Параметри регулятора, що забезпечують даний показник коливності:

Kp = 8.2;

Ti = 36;

Td = 0;

Передавальна функція регулятора:

$$W_{p1} = \frac{295.2p + 8.2}{36p}.$$

Перевіримо стійкість систем за допомогою критерія Найквіста. Перевіряти будемо за допомогою функції nyquist.

Критерій Найквіста: якщо система автоматичного управління стійка в розімкненому стані, то для її стійкості в замкненому стані необхідно і достатньо, щоб АФЧХ розімкненої системи W(jw) при зміні w від нуля до нескінченності не охоплювала точку з координатами (-1; j0) комплексної площини.

Пишемо nyquist(sys_open). Тепер натискаємо ПКМ на графіку Characteristics>All Stability Margins. Натискаємо на точки які з’явилися на графіку.

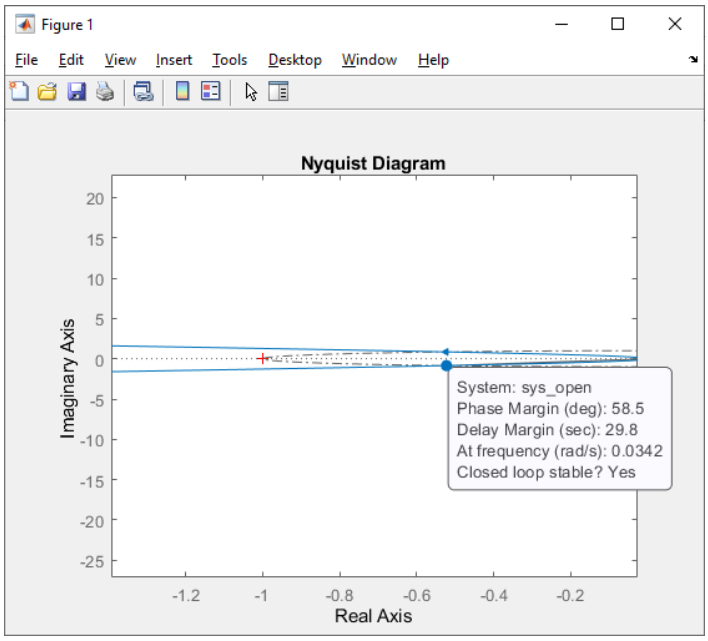


Рисунок 3.3 – Критерій стійкості Найквіста

Оскільки графіки не охоплюють точку (-1,0) то системи вважаються стійкими. У віконечку яке з'явилося після натискання на точку пише, що замкнена система є стійкою та запаси по фазі.

Для того щоб отримати характеристики замкненої системи із зворотнім зв'язком використовуємо наступний код

```
sys_fb = feedback(sys_open, 1);
step(sys_fb), grid on
```

Результати дослідження поведінки замкненої системи з розрахованими параметрами регулятора зображені на рисунку 3.4.

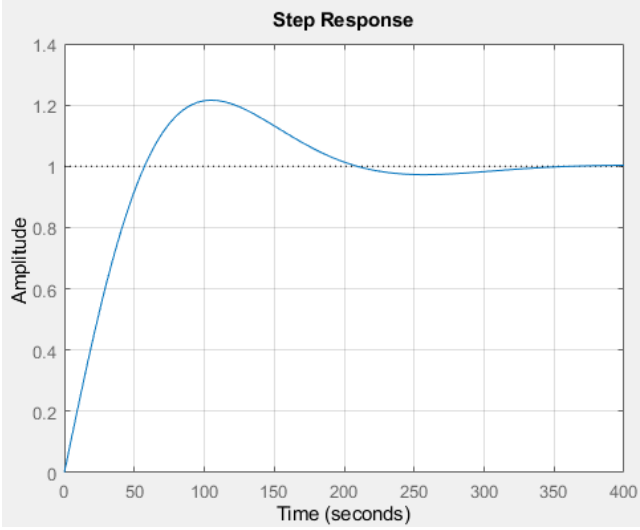


Рисунок 3.4 - Графічне зображення поведінки замкненої системи з

розрахованими параметрами регулятора

Даний графік показує, що задані параметри регулятора забезпечують стійкість системи та вихід на заданий рівень сигналу за час 350 с.

Синтез одноконтурної САК будемо здійснювати за допомогою Matlab Simulink.

На рис. 3.5 зображена модель одноконтурної САК створеної в Simulink.

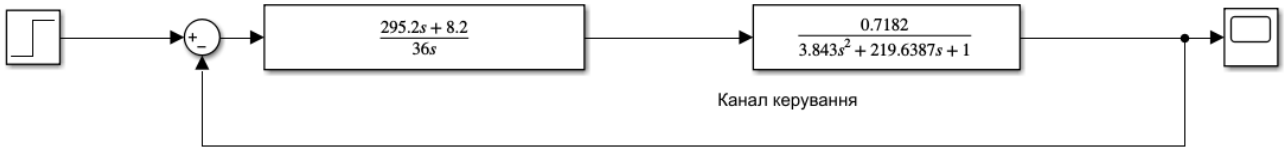


Рисунок 3.5 – Одноконтурна САК

3.2 Синтез ефективних АСР

Створена САК здатна в певній мірі забезпечити керування параметрами в ректифікаційній колоні, але оскільки в системі присутні збурення, які мають негативний вплив на стабільність протікання технологічного процесу. Тому потрібно розробити САК здатну реагувати на або компенсувати збурення.

В даній роботі буде обрано другий варіант з додаванням до системи компенсаторів збурюючих впливів.

Загальна передавальна функція компенсатора має такий вигляд:

$$F = -\frac{W_{\text{збур}}}{W_{\text{ОК}}}.$$

Підставивши передавальні функції каналів збурення $F_П \rightarrow t_{Р1}$ та $t_П \rightarrow t_{Р1}$ отримаємо

$$F1 = \frac{2.76p^2 + 157.8p + 0.7182}{3.027p^2 + 173p + 0.7878},$$

$$F2 = \frac{2.76p^2 + 157.8p + 0.7182}{4.025p^2 + 230p + 1.047},$$

відповідно.

Для перевірки ефективності розрахованих компенсаторів об’єднаємо передавальну функцію каналу збурення із передавальною функцією компенсатора за допомогою функції parallel. Код програми яка використовується

для перевірки ефективності компенсаторів:

```
F1c=parallel(F1,WFPtp1)
F2c=parallel(F2,WtPtp1)
subplot(1,2,1)
hold on
step(WFPtp1)
step(F1c)
hold off
subplot(1,2,2)
hold on
step(WtPtp1)
step(F2c)
hold off
```

Результат виконання програми зображений на рис. 3.6.

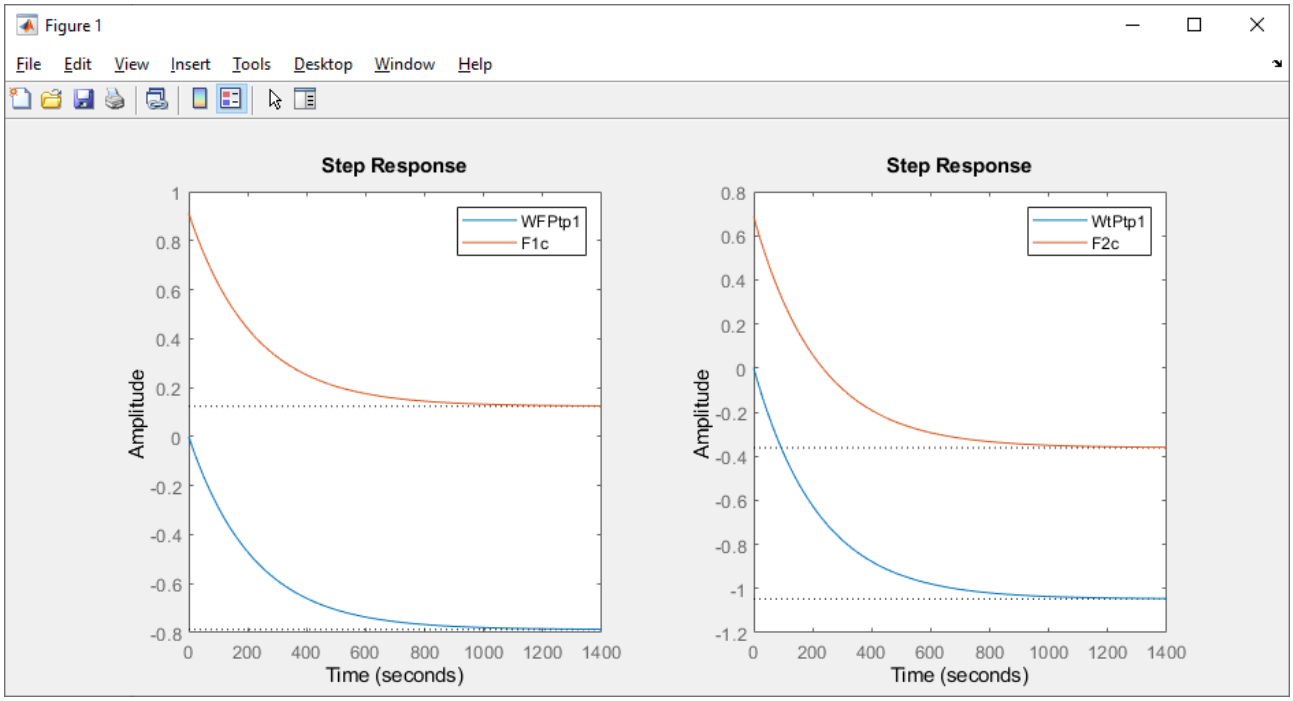


Рисунок 3.6 Результат дії компенсаторів збурюючого впливу

Розраховані компенсатори значно зменшують дію збурюючого впливу, тому доцільно використати їх для синтезу САК.

На рис. 3.7 зображена модель САК з компенсаторами збурюючих впливів

створеної в Simulink.

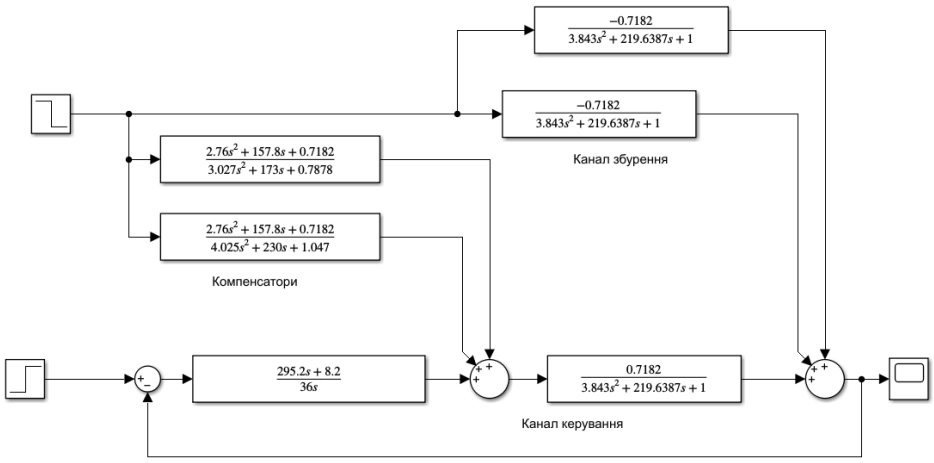
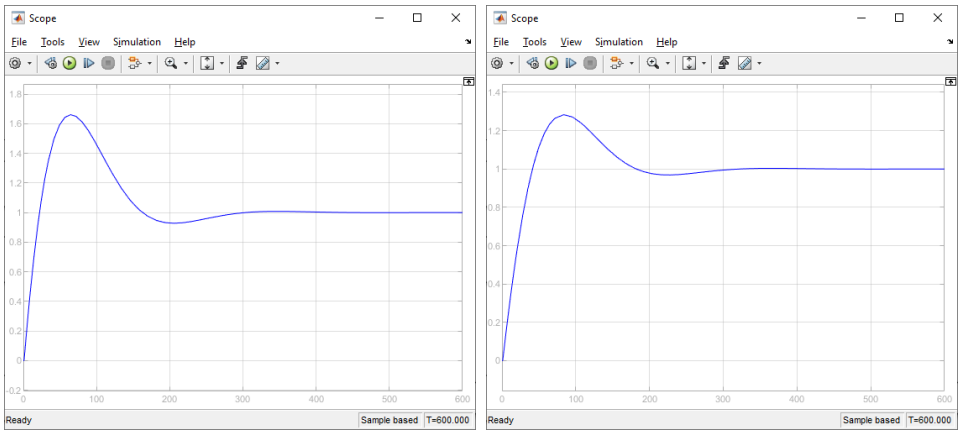


Рисунок 3.7 – САК з компенсаторами збурюючих впливів

3.3 Аналіз роботи розроблених АСР

Для дослідження системи буде використано Matlab Simulink.

На канал керування подаємо сигнал з рівнем 1, а на канал збурення подаємо сигнал з рівнем мінус 5. Результати симуляції цієї системи без та з компенсаторами зображені на рис 3.7.



а) б)

Рисунок 3.7 - Перехідна характеристика САК а) без компенсаторів; б) з компенсаторами

З рис. 3.7 можна зробити висновок, що компенсатори значно покращують якість роботи системи.

Висновки до розділу

В даному розділі було створено та проаналізовано роботу створених АСР ректифікаційної колони.

4. РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ СКЛАДОВОЇ САК

4.1 Вибір технічних засобів автоматизації

1. Датчик температури ТХА, тип К, довжина 250 мм (0...1050°С).

Рисунок 4.1 Датчик температури ТХА, тип К,

Технічні характеристики:

- Клас допуску - 2;
- Довжина високотемпературної частини: 250 мм
- Загальна довжина: 250 мм (включно високотемпературну)
- Діаметр вимірювальної частини: 10 мм
- Матеріал високотемпературної частини: н/ж сталь 310S
- Матеріал монтажної коробки: алюміній
- Інерційність: 45 с
- Робочий тиск: 6,3 bar.

2. Sensit PTS 91 датчик температури з виходом 4-20 мА, Pt 1000/3850, -50 °C до +400 °C, 100 мм, IP 54.

Рисунок 4.2 - Sensit PTS 91

Характеристики

- Тип чутливого елемента - Pt 1000/3850;
- Виконання / Тип - З комутаційною головкою;
- Вхід - 4-20 мА;
- Діапазон вимірювання температури - -50 °C до +400 °C;
- Вихідний сигнал - 4-20 мА;
- Довжина стержня з чутливим елементом - 100 мм;
- Кабель - 1.5 до 2.5 мм2;
- Опір ізоляції - >200 MΩ при 500 VDC, 25 °C ±3; вологість <85 %;
- Матеріал головки підключення - алюмінієвий сплав, LIMATHERM B;
- Тип різьби - M 20x1.5;
- Клас захисту - IP 54, згідно EN 60529.

3. ДРП-І . Поплавковий датчик рівня з аналоговим вихідним сигналом 4...20 мА

Рисунок 4.3 - ДРП-І

- Довжина штока: від 250 мм до 2500 мм (кратність 250 мм).
- Дискретність перетворення: 5 або 10 мм.
- Діапазон робочих температур вимірювального середовища: –60…+125 °С.
- Діапазон робочого тиску вимірювального середовища: від вакууму до 2 МПа.
- Густина робочого середовища: ≥0,65 г/см3.

4. Вихровий лічильник-витратомір Yokogawa digitalYEWFLO серія DY

Рисунок 4.4 - Вихровий лічильник-витратомір Yokogawa digitalYEWFLO серія DY

Технічні характеристики:

- Робоче середовище: рідина, газ, пар;
- Точність показань: ± 0,75% для рідин; ± 1-1,5% для газів;
- Температура робочого середовища: -196 - +450 °С (в залежності від виду виконання);
- Температура навколишнього середовища: -40 - +85 °С;
- Вихідний сигнал: 4-20 мА, імпульсний, цифровий HART або BRAIN, Foundation Fieldbus;
- Діаметр трубопроводу: 15 - 400 мм;
- Ступінь захисту: IP67;

- Міжповірочний інтервал 4 роки;
- Конфігуратор: вихрові витратоміри.

5. Регулюючий клапан з електроприводом Ari-Stevi 440.

Рисунок 4.5 - Регулюючий клапан з електроприводом Ari-Stevi 440

- Номінальні діаметри: DN 15 ... 250;
- Номінальний тиск, бар: PN 16, 25 ,40;
- Діапазон значень kvs(м3/год): 2,5 ... 1000;
- Ущільнення штока і робоча температура клапана:

– Чистий графіт: -60 ... 450 °C;

- Виконання затвора стандартне:

– DN 15...150: параболічний затвор (ущільнення метал по металу);

- Виконання затвора опціональне:

– DN 15 ... 150: параболічний затвор з підвищеною герметичністю (клас IV-S1);

- Витратна характеристика модифікована рівновідсоткова або лінійна (на вибір)
- Діапазон регулювання:

– 50 : 1 для параболічного затвора;

- Клас герметичності:

– метал / метал: клас герметичності затвора IV по DIN EN 60534-4;

- Матеріали:

– Корпус:

арт. 55.440 / 55.441: н/ж сталь 1.4408 (PN40);

– Внутрішні елементи: різні марки н/ж сталей.

Модель електропривода: ARI-PREMIO PLUS 2G

- Клас захисту IP65.
- Захист двигуна від перегріву;
- Кінцеві вимикачі і вимикачі по зусиллю;
- Ручне аварійне керування;
- Кількість допустимих включень в годину: 1200;
- Керування: Трипозиційне управління і аналогове 4..20 mA, 0 ... 10 В;
- Можливість зміни типу витратної характеристики (для Ari-Premio Plus) і швидкості переміщення штока.

6. Регулятор мікропроцесорний МІК-311-К11

Рисунок 4.6 – МІК-311

- 1 AI:
  - уніфіковані сигнали (IEC 381-1, IEC 60381-2);
  - термоперетворювачі опорів (ДСТУ 2858-94);
  - термоперетворювачі опорів NTC (DIN EN 44070);
  - термопари (ДСТУ 2837-94, ГОСТ3044-94, DIN IEC 584-1);

- 1 AO:
    - 0-5 мА (Rн ≤ 2 кОм);
    - 0(4)-20 мА (Rн ≤ 500 Ом);
    - 0-10 В (Rн ≥ 2 ком);
- 2 DI:
    - логічний "0" - 0-7;
    - логічна "1" - 18-30 ст;
- 2 DO:
    - Транзисторний вихід: ≤ 40 В, 100 мА;
    - Релейний вихід: ≤ 220 В, 8 А;
- Закони регулювання: П, ПІ, ПД або ПІД;
- Живлення регулятора від мережі:
    • змінного струму від 100 В до 242 В
    • постійного струму від 18 В до 36 В

Послідовний інтерфейс RS-485

- Кількість приладів на одному сегменті: до 32
- Максимальна довжина лінії в межах одного сегмента мережі: до 1200 метрів
- Діапазон мережевих адрес: до 255
- Вид кабелю: Вита пара, екранована кручена пара
- Протокол зв'язку: Режим Modbus RTU (віддалений термінал)

7. Універсальне реле-регулятор АК-1

Рисунок 4.7 - АК-1

Технічна характеристика

- Кількість аналогових входів: 1;
- Діапазон зміни вхідного аналогового сигналу:
  - від 0 мА до 5 мА (Rвх=50 Ом);
  - від 0 мА до 20 мА (Rвх=25 Ом);
  - від 4 мА до 20 мА (Rвх=25 Ом);
  - від 0 В до 10 В (Rвх=40 кОм);
  - від 0 В до 260 В (Rвх=5);
- Діапазон зміни параметра «Гістерезис»: 0,1 до 5%;
- Похибка установки параметра «Гістерезис»: 0,1%;
- Діапазон зміни параметра «Межа»

  - для верхніх значень К1: 0÷100%

  - для нижніх значень К2:
    - 50÷100%
    - 0÷100%
    - 0÷50%
- Кількість дискретних виходів: 2
- Тип виходу: перемикаючі контакти реле

- Максимальна напруга комутації змінного (діюче значення) або постійного струму: 220В
- Максимальний струм навантаження кожного виходу: ≤ 8 А
- Напруга живлення: 24±6 (нестабілізоване)
- Струм споживання, не більше: 90 мА

8. Блок дистанційного управління RTU530

Рисунок 4.8 RTU530

Комутаційний блок 530CMD01, Multi CMU module

- Підтримка до 4 модулів CMU
- Макс. 8 портів Ethernet, макс. 8 послідовних портів на DIN-рейці.
- Підтримка порту Ethernet мереж 10/100/1000 baseT
- Послідовні порти можна налаштувати як RS232 або RS485, гальванічно ізольовані
- Кожен модуль має власне джерело живлення (рішення з резервним джерелом живлення)

Модуль аналогового входу 530AID01

- 8 аналогових входів
- R0001: для сигналів мА (2,5 мА, 5 мА, 10 мА, 20 мА, 40 мА, однополярний, двополярний)

- Роздільна здатність АЦП: 16 біт
- Автоматичне калібрування нуля
- Точність для мА-сигналів: 0,2%

Модуль аналогового виходу 530AOD01

- 4 аналогові виходи
- для сигналів мА (2,5 мА, 5 мА, 10 мА, 20 мА (4..20 мА), однополярний, двополярний)
- Роздільна здатність ЦАП: 16 біт
- Точність для мА-сигналів: < 0,2%

4.2. Розробка функціональної схеми автоматизації

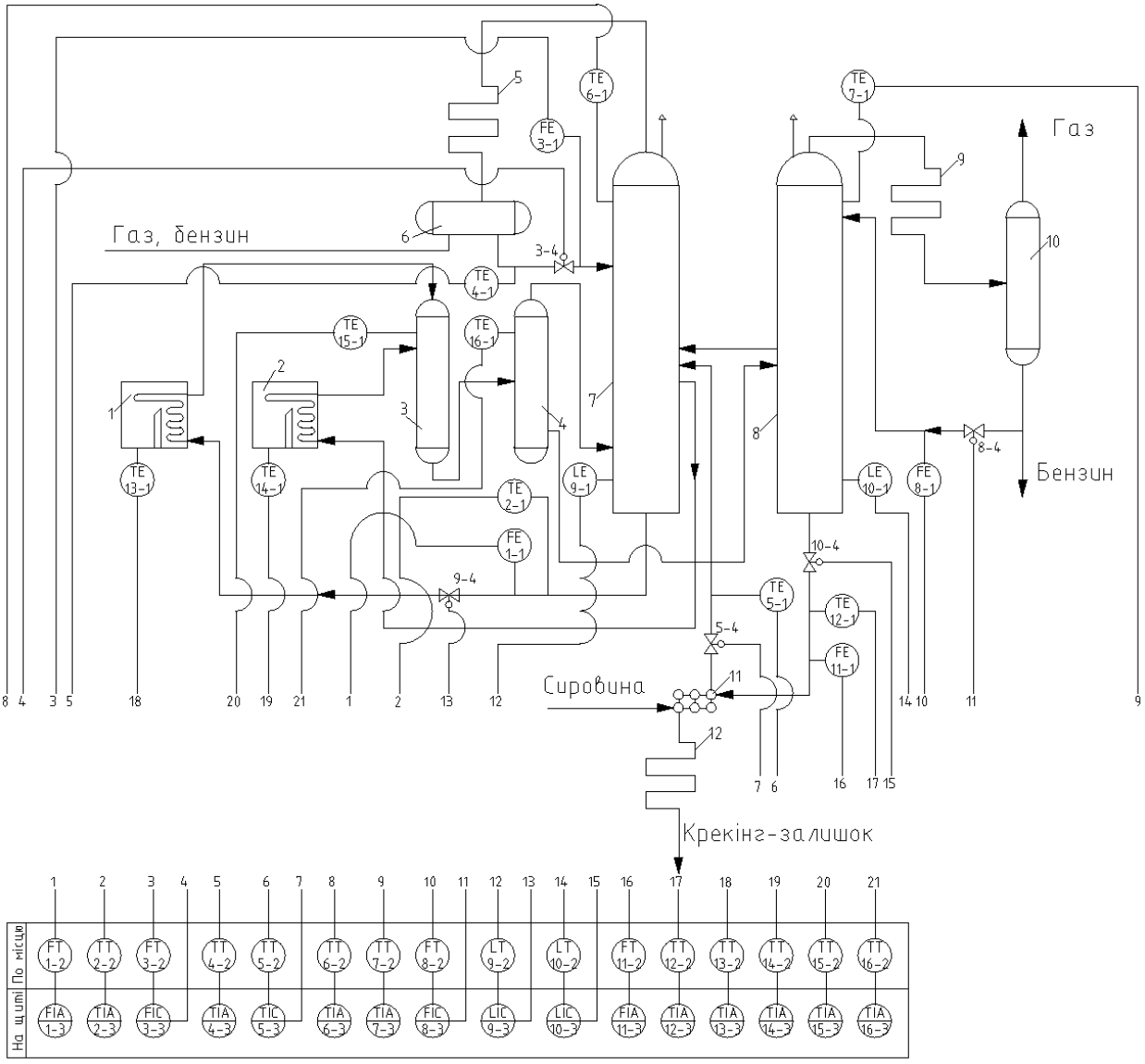


Рисунок 4.9 – Функціональна схема автоматизації

На рис 4.9 зображена функціональна схема яка складається з 16 контурів.

Перший контур. Вимірювання, індикація та сигналізація витрати ректифікату з ректифікаційної колони 7.

Другий контур. Вимірювання, індикація та сигналізація температури ректифікату з ректифікаційної колони 7.

Третій контур. Вимірювання, індикація та регулювання потоку флегми в ректифікаційну колону 7 за допомогою ПІ-регулятора.

Четвертій контур. Вимірювання, індикація та сигналізація температури потоку флегми в ректифікаційну колону 7.

П’ятий контур. Вимірювання, індикація та регулювання температури потоку сировини в ректифікаційну колону 7 за допомогою реле.

Шостий контур. Вимірювання, індикація та сигналізація температури в верхній частині ректифікаційної колони 7.

Сьомий контур. Вимірювання, індикація та сигналізація температури в верхній частині ректифікаційної колони 8.

Восьмий контур. Вимірювання, індикація та регулювання потоку флегми в ректифікаційну колону 8 за допомогою ПІ-регулятора.

Дев’ятий контур. Вимірювання, індикація та регулювання рівня кубового залишку в ректифікаційній колоні 7 за допомогою реле.

Десятий контур. Вимірювання, індикація та регулювання рівня кубового залишку в ректифікаційній колоні 8 за допомогою реле.

Одинадцятий контур. Вимірювання, індикація та сигналізація витрати ректифікату з ректифікаційної колони 8.

Дванадцятий контур. Вимірювання, індикація та сигналізація температури ректифікату з ректифікаційної колони 8.

Тринадцятий контур. Вимірювання, індикація та сигналізація температури в печі 1.

Чотирнадцятий контур. Вимірювання, індикація та сигналізація температури в печі 2.

П’ятнадцятий контур. Вимірювання, індикація та сигналізація температури в реакційній камері 3.

Шістнадцятий контур. Вимірювання, індикація та сигналізація температури в випарнику 4.

Дана функціональна схема розроблена з метою спрощення процесу підключення та налаштування обладнання. Вона містить всього 4 контура керування та регулювання, яких повинно бути достатньо для забезпечення безперервного протікання процесу термічного крекінгу при правильному налаштуванні параметрів печей, реакторів та інших об’єктів.

Оскільки сучасні SCADA-системи дозволяють створити мнемосхему яка буде виконувати функції індикації і сигналізації та відображати дані у такому вигляді у якому бажає оператор, тому щит у даній роботі розроблятися не буде.

На рис. 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 зображені схеми підключення ТЗА.

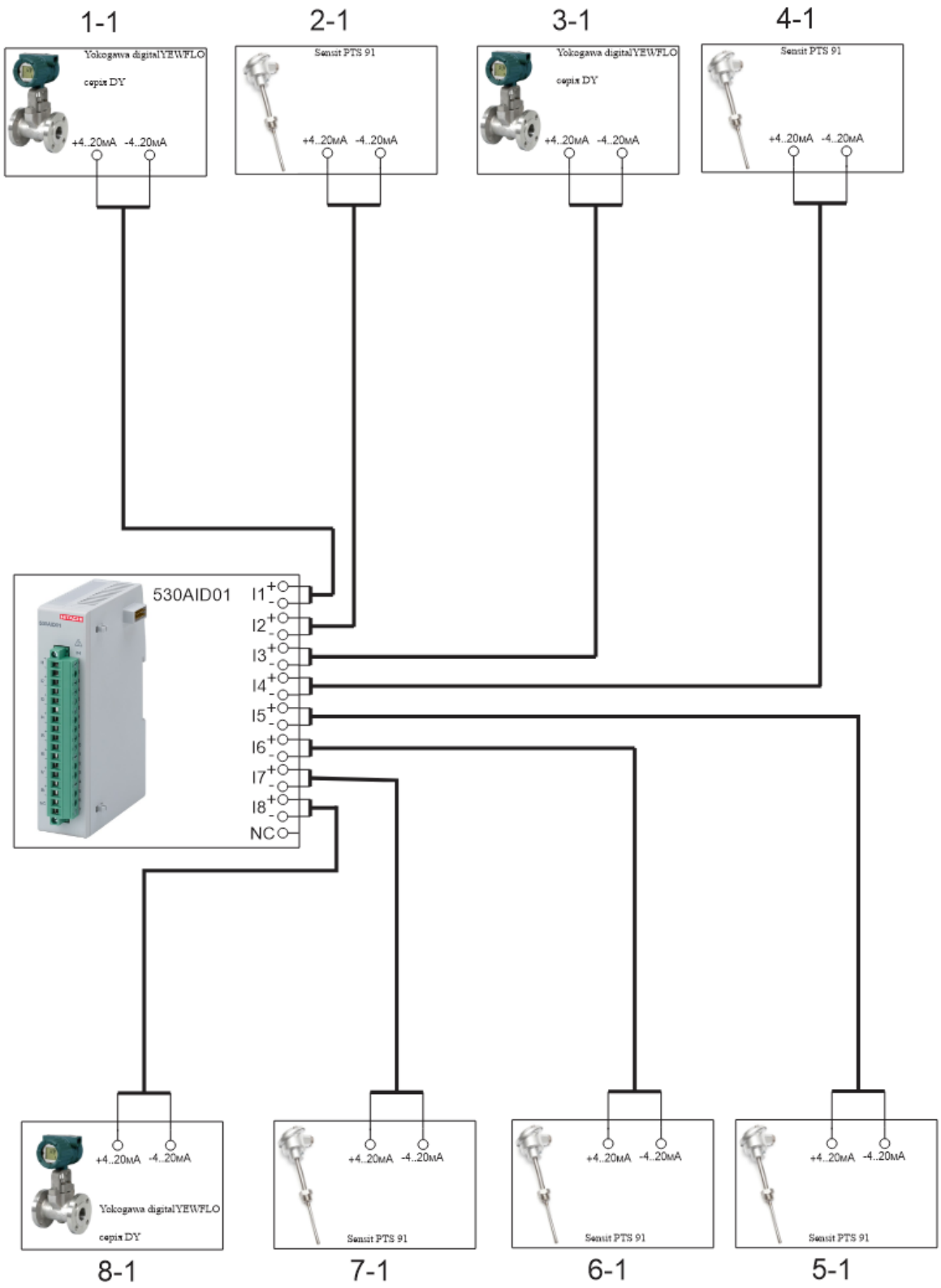


Рисунок 4.10 – Схема підключення датчиків від 1 до 8 контурів

На рис. 4.10 зображено схему підключень датчиків від 1 до 8 контурів до модуля 530AID01.

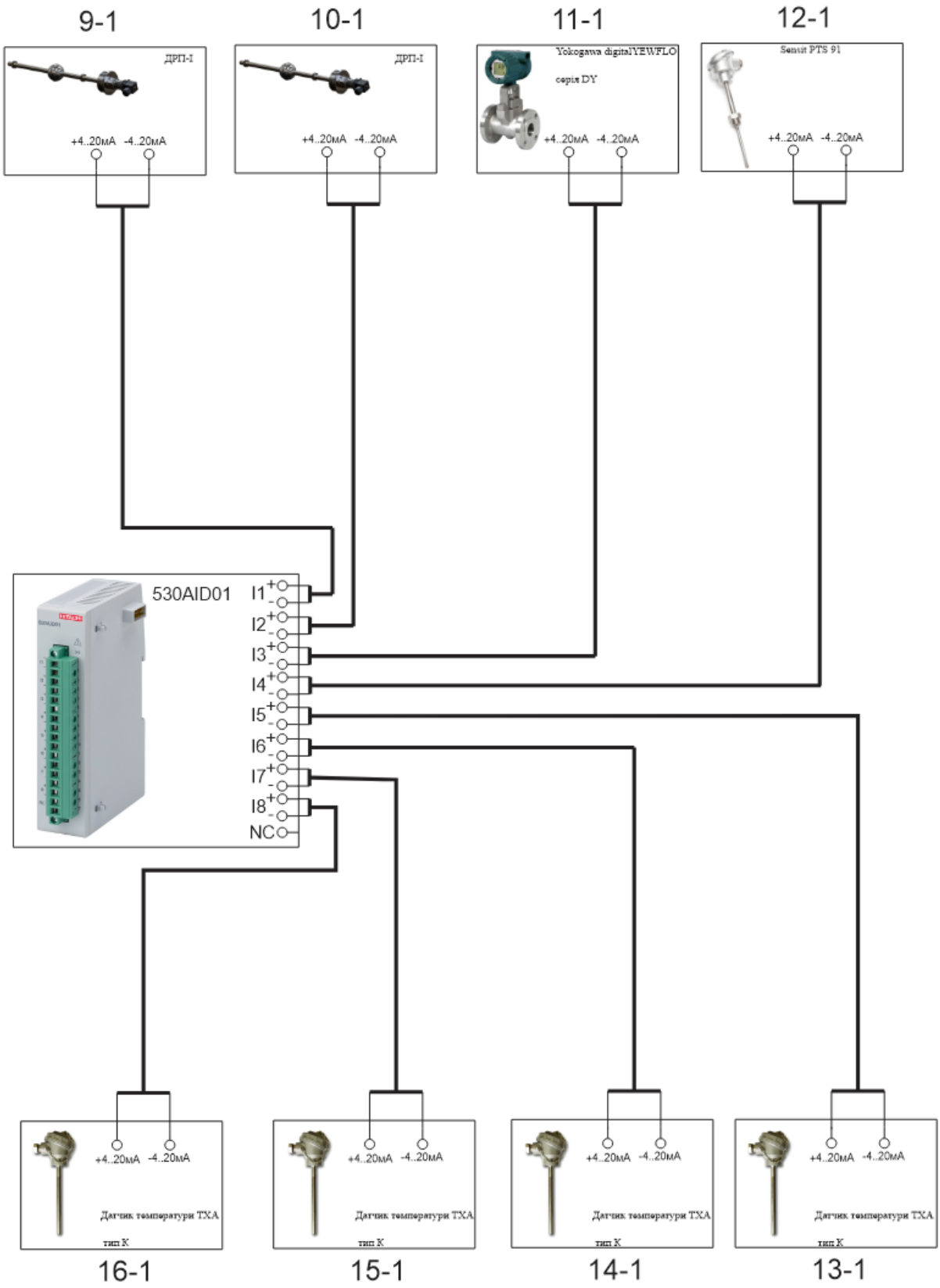


Рисунок 4.11 – Схема підключення датчиків від 9 до 16 контурів

На рис. 4.10 зображено схему підключень датчиків від 9 до 16 контурів до модуля 530AID01.

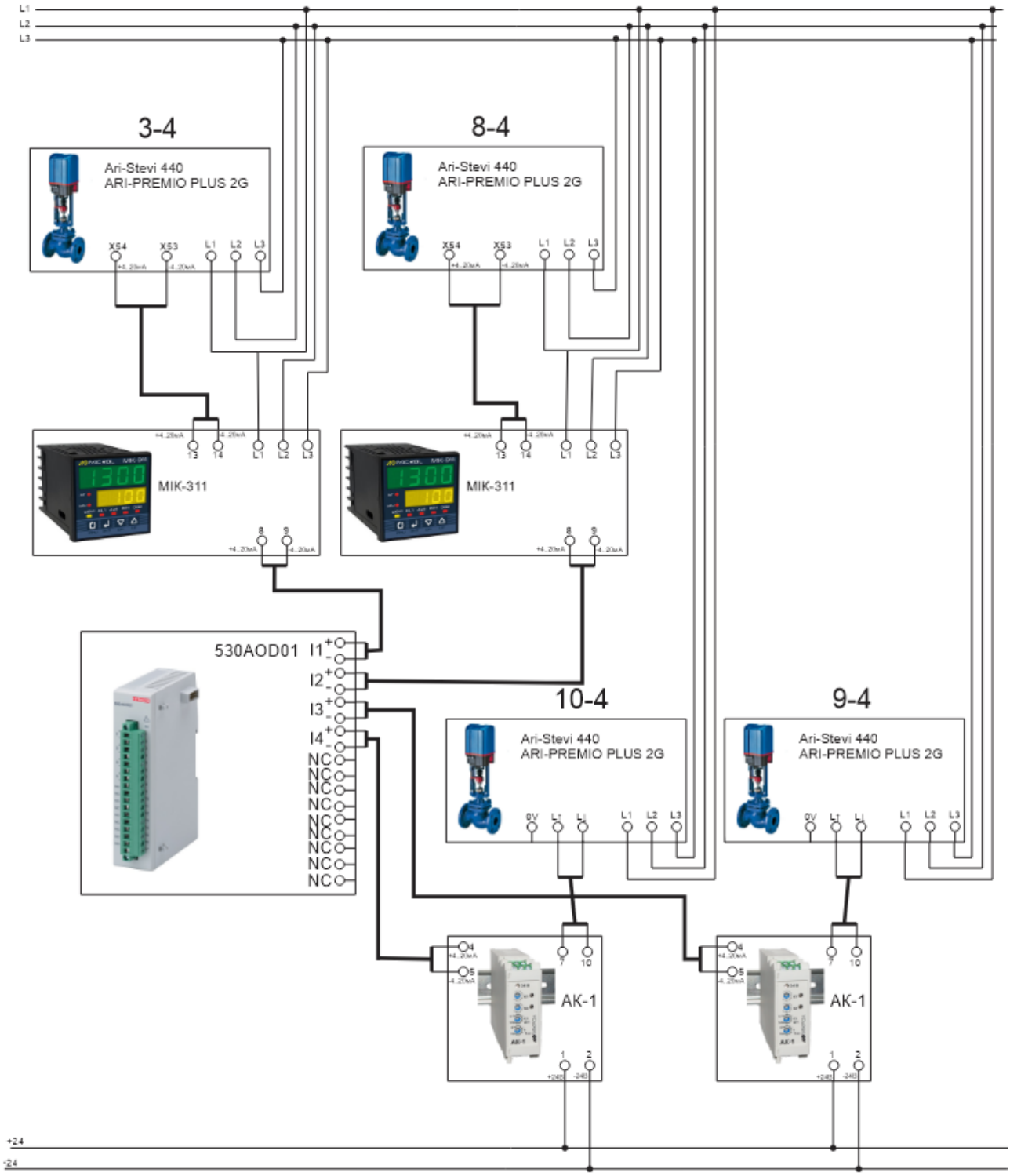


Рисунок 4.12 – Схема підключення ПІД-регуляторів, реле та клапанів

На рис. 4.10 зображено схему підключень ПІД-регуляторів МІК-311 та реле АК-1 до модуля 530AID01. МІК-311 підключається до модуля 530AID01 за допомогою контактів 8 і 9, та до контактів клапана X53(-) X54(+) за допомогою контактів13 і 14. Реле АК-1 підключається до модуля 530AID01 за допомогою

контактів 4 і 5 та до контактів клапана L↑ і L↓ за допомогою контактів 7(реле К1) і 10(реле К2). Контакти 1 і 2 реле АК-1 підключаються до живлення 24В. Контакти живлення МІК-311 та клапанів підключаються до 3-х фазного живлення.

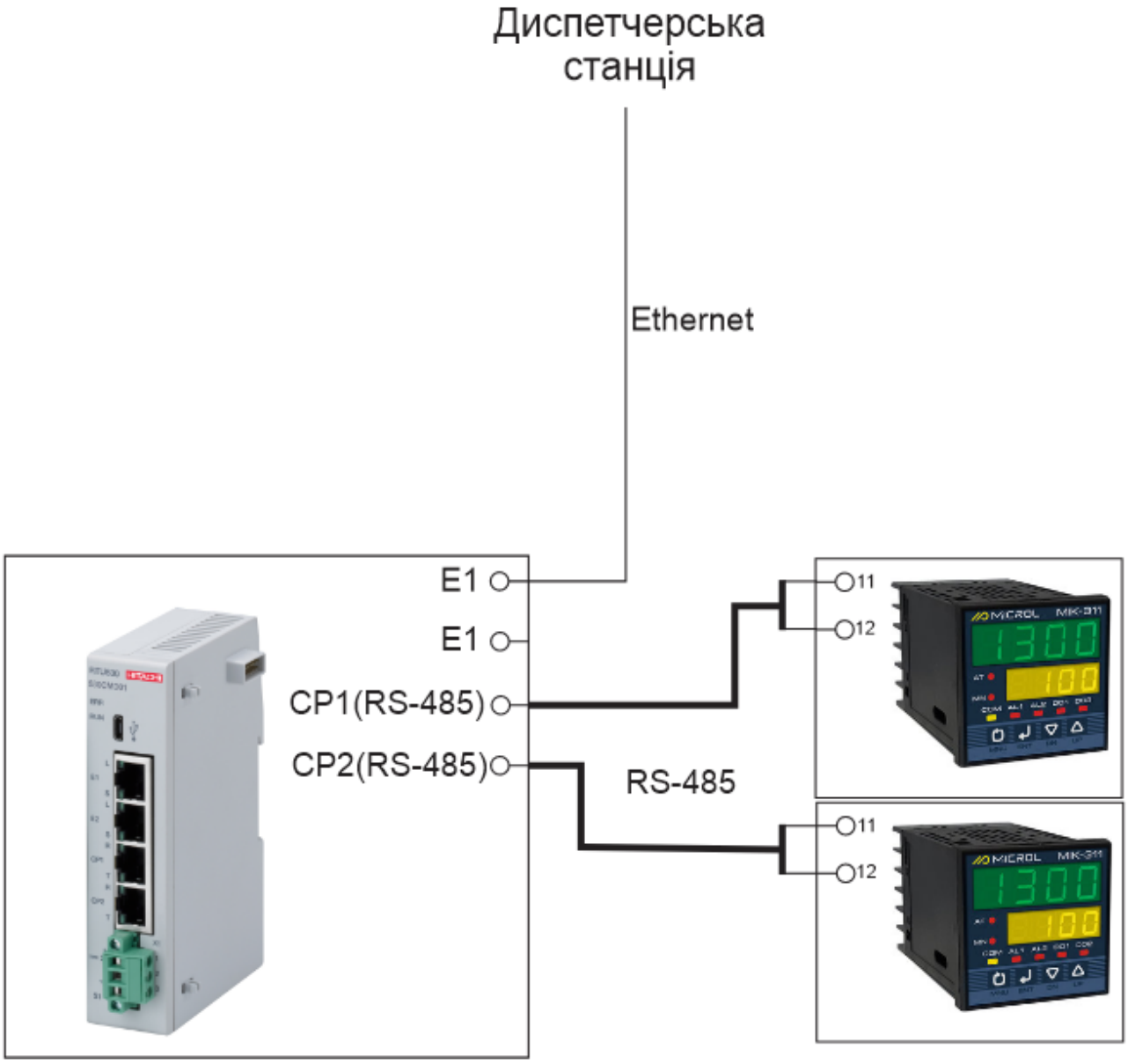


Рисунок 4.13 – Схема підключення регуляторів через інтерфейс RS-485

На рис.4.13 зображено схему підключення регуляторів до модуля RTU. Порти Ethernet та послідовні порти дозволяють підключити до 2 диспетчерських станцій/серверів та 2 регуляторів/ПЛК які можуть підключатися за допомогою портів RS-232/RS-485. Це дозволяє проводити дистанційне налаштування підключених пристроїв.

Висновки до розділу

В даному розділі було обрано ТЗА, створено функціональну схему автоматизації, схему підключень ТЗА.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В процесі виконання бакалаврської роботи було розроблено систему автоматизації технологічного процесу термічного крекінгу.

У даній роботі проведено аналіз технологічного процесу термічного крекінгу як об’єкта керування, розроблено систему автоматичного керування процесом, підібрано необхідні технічні засоби автоматизації. Також розрахований контур регулювання, визначений закон регулювання, побудована перехідна характеристика, проведена оптимізація параметрів регулятора, завдяки чому, покращені показники якості регулювання.

Вибрано основний апарат, яким являється ректифікаційна колона. Розроблено математичну модель, розраховано передавальні функції об’єкта керування, регулятора, каналів керування та збурення, компенсаторів збурюючого впливу, розроблено та оптимізовано САК.

Створено функціональну схему автоматизації та схему підключень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об’єкти керування та схеми автоматизації [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп’ютерно-інтегровані технології» / М. В. Лукінюк ; М-во освіти і науки України, НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 2,93 Мбайт). – Київ : Політехніка, 2008. – 236 с. URL: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49706
2. Інноваційні технології глибокої переробки органічних матеріал: конспект лекцій [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю спеціальності 133 Галузеве машинобудування, спеціалізації «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: М. П. Швед, А. Р. Степанюк, Д. М. Швед – Електронні текстові данні (1 файл: 5,79 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 221 с. URL: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48567
3. Інтерактивний комплекс з дисциплін “Автоматизація технологічних процесів” для студентів III-го курсу спеціальності 5.092503 “Монтаж, обслуговування засобів і систем автоматизації технологічного виробництва” Кухнюк Н.В., - Рівне: Технологічний коледж НУВГП 2008 – 238 с.
4. Конспект лекцій дисципліни “Процеси та обладнання нафтопереробних виробництв” для спеціальності 7.05050315 “Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів” – Київ : Політехніка, 2014. – 80 с.
5. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Донбас, 2004. — Т. 1 : А — К. — 640 с. — ISBN 966-7804-14-3.
6. Блок дистанційного управління RTU530. [Електронний ресурс] – URL: https://www.hitachienergy.com/products-and-solutions/substation-automation-

protection-and-control/products/remote-terminal-units/rtu530-product-line

7. Датчик витрати Yokogawa digitalYEWFLO DY. [Електронний ресурс] – URL: https://trade-control.com.ua/ua/products/yokogawa-digitalyewflo-dy
8. Датчик температури ТХА, тип К, довжина 250 мм (0...1050°С). [Електронний ресурс] – URL: https://promzona.vn.ua/ua/p770769870-datchik-temperatury-tha.html
9. Датчик температури Sensit PTS 91. [Електронний ресурс] – URL: https://seltok.com/catalog/sensit-pts-91-datchik-temperaturi-z-vikhodom-4-20-ma-pt-1000-3850-50-c-to-400-c-100-mm-ip-54/
10. Датчик рівня поплавковий ДРП-І. [Електронний ресурс] – URL: https://aqteck.ua/ua/datchyky/pdu-i-poplavkovi-datchyky-rivnja-z-analogovym-vhidnym-sygnalom-4-20-ma
11. Регулятор мікропроцесорний МІК-311-К11. [Електронний ресурс] – URL: https://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=373&category_id=41&option=com_virtuemart&Itemid=71
12. Регулюючий клапан з електроприводом Ari-Stevi 440 / 441. [Електронний ресурс] – URL: https://energopribor.zp.ua/ari_stevi_reg.html
13. Реле-регулятор АК-1. [Електронний ресурс] – URL: https://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=123&category_id=47&option=com_virtuemart&Itemid=71
14. Different Types of SCADA System Architecture. [Електронний ресурс] – URL: https://automationforum.co/different-types-of-scada-system-architecture/