

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ

Група АКПз-22-1

Тетяна Вівчарчук

2026

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

Вівчарчук Тетяна Василівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.5:66.011

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення системи автоматизації реакторного блоку установки

(назва роботи)

каталітичного риформінгу

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

(посада)

(підпис)

(дата)

О.В. Кучмистенко

(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКПз-22-1

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

Т.В. Вівчарчук

(ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

І.І. Чигур

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

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

«___» _____ 20__ року

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

Вівчарчук Тетяна Василівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи автоматизації реакторного блоку
установки каталітичного риформінгу

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

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «___» _____ 20__ року № _____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Технологічна схема об'єкту, параметри
проходження процесу, стандарти, каталоги, методичні вказівки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Аналіз технологічного процесу риформінгу на установці каталітичного риформінгу як об'єкта автоматичного контролю і керування.

2. Математичне моделювання і ідентифікація об'єкта керування. 3. Синтез структури системи автоматичного керування. 4. Розробка технічної документації на САК. Загальні висновки. Перелік посилань на джерела.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Лист 1 - Функціональна схема автоматизації - БР.АКПз-40.00.00.001;

Лист 2 - Аналіз і синтез одноконтурної АСК - БР.АКПз-40.00.00.002;

Лист 3 - Аналіз і синтез каскадної АСК - БР.АКПз-40.00.00.003;

Лист 4 - Схема зовнішніх з'єднань - БР.АКПз-40.00.00.004;

Лист 5 - Принципова електрична схема сигналізації - БР.АКПз-40.00.00.005;

Лист 6 - Принципова електрична схема керування двигуна - БР.АКПз-40.00.00.006;

Лист 7 - Принципова електрична схема щита живлення - БР.АКПз-40.00.00.007.

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 72 сторінки друкованого тексту, 16 рисунків, 9 таблиць, 8 переліків посилань на джерела та 3 додатки.

Тема: Розроблення системи автоматизації реакторного блоку установки каталітичного риформінгу.

Об'єкт дослідження: реакторний блок установки каталітичного риформінгу.

Мета проекту: розробка автоматичної системи управління реакторним блоком установки каталітичного риформінгу.

Методи дослідження: ідентифікація теплообмінного апарату і моделювання автоматичної системи управління теплообмінником.

Результати кваліфікаційної роботи: аналіз роботи реакторного блоку установки каталітичного риформінгу показав, що існуюча система автоматизації є недосконалою, виникають немало труднощів при експлуатації даної системи автоматизації.

При виконанні роботи вирішено такі питання: аналізується технологічний процес реакторного блоку каталітичного риформінгу і на основі аналізу вибираються параметри управління. Обґрунтовується вибирання технічних засобів системи управління і розробляється структурна схема управління процесом, а на її основі функціональна схема автоматизації, функціональна схема зовнішніх з'єднань, принципові електричні схеми. Синтезовано одноконтурну та каскадну системи управління теплообмінним апаратом. Моделювання перехідних процесів в системі виконуються в інтерактивному пакеті Matlab.

Ключові слова: автоматичне керування, електрофільтр, передавальна характеристика, давач, моделювання, контролер.

ABSTRACT

The bachelor's thesis contains: 72 pages of printed text, 16 figures, 9 tables, 8 lists of references to sources and 3 appendices.

Topic: Development of an automation system for the reactor unit of a catalytic reforming plant.

Object of research: reactor unit of a catalytic reforming plant.

Project objective: development of an automatic control system for the reactor unit of a catalytic reforming plant.

Research methods: identification of the heat exchanger and modeling of an automatic heat exchanger control system.

Results of the qualification work: analysis of the operation of the reactor unit of a catalytic reforming plant showed that the existing automation system is imperfect, many difficulties arise when operating this automation system.

When performing the work, the following issues were resolved: the technological process of the catalytic reforming reactor unit is analyzed and control parameters are selected based on the analysis. The selection of technical means of the control system is justified and a structural diagram of the process control is developed, and on its basis a functional diagram of automation, a functional diagram of external connections, and basic electrical diagrams are developed. A single-loop and cascade control system for a heat exchanger is synthesized. Modeling of transient processes in the system is performed in the interactive Matlab package.

Keywords: automatic control, electrostatic precipitator, transfer characteristic, sensor, modeling, controller.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ВВГ - водневмісний газ.

ВМ - виконавчий механізм.

ГДК - гранично-допустима концентрація.

КО - керований об'єкт.

ФСА - функціональна схема автоматизації.

РО - регулюючий орган.

САК - система автоматичного керування.

ТЗА - технічні засоби автоматизації.

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

На сьогоднішній день в Україні виникла тенденція до відродження промисловості, причиною тому є банальна арифметика - торгівля ніколи не приносить такого прибутку як реальне виробництво. Отже відродження знищеного, оптимізація існуючого та впровадження нового виробництва є пріоритетним напрямком розвитку промисловості держави.

З огляду на моральне та фізичне зношення технологічного обладнання і засобів автоматизації на діючих виробництвах, актуалізується необхідність їх модернізації. Цілями модернізації є:

1. Підвищення якості продукції.
2. Зниження її собівартості.
3. Приведення безпеки технологічного процесу до міжнародних стандартів.
4. Поглиблення автоматизації технологічних процесів.

Важко недооцінити внесок автоматизації в загальний процес розвитку промисловості. Автоматизація є ланкою, що має визначальний вплив на якість виробництва, і одним із вирішальних факторів підвищення продуктивності праці на виробництві.

Створення високоефективних автоматичних систем управління залежить від ступеня підготовки технологічного процесу і обладнання до автоматизації, стабільності характеристик сировини, наявності ретельно пророблених алгоритмів управління і засобів автоматизації. У зв'язку з цим велике значення набувають питання методів ідентифікації, моделювання і оптимізація управління технологічними процесами.

На сьогодні перед промисловістю стоїть задача добитися максимального виходу високооктанового компоненту бензину із переробки нафтопродуктів і контролювати всі параметри процесу з найменшою затратою енергії і фінансів, у зв'язку із економічною кризою та зменшенням світових запасів «чорного золота» (нафти) .

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою бакалаврської роботи є удосконалення системи автоматичного керування процесом каталітичного риформінгу.

Для досягнення поставленої мети в кваліфікаційній роботі розв'язуються наступні задачі:

- аналізується сучасний стан виробництва;
- ідентифікується і моделюється процес регулювання теплообмінними апаратами;
- синтез САК теплообмінником;
- розробка проектних документів;
- аналіз надійності спроектованої системи.

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РИФОРМІНГУ НА УСТАНОВЦІ КАТАЛІТИЧНОГО РИФОРМІНГУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ

1.1 Сутність, хімічні основи процесу та призначення установки каталітичного риформінгу

Одним із ключових процесів, що забезпечують підвищення якості бензинів і отримання цінних мономерів, є каталітичний риформінг, який широко застосовується в сучасній нафтопереробній промисловості.

Основне призначення каталітичного риформінгу полягає у виробництві високооктанових компонентів автомобільних бензинів із низькооктанової сировини шляхом її ароматизації. Такий процес називають паливним риформінгом. Іншим напрямом є отримання індивідуальних ароматичних вуглеводнів, зокрема бензолу, толуолу, ксилолів і етилбензолу - у цьому випадку процес має назву ароматичного риформінгу. Важливою перевагою є також утворення недорогого водневмісного газу, який використовується у гідрогенізаційних процесах переробки нафтової сировини.

На сьогодні переважно експлуатуються установки каталітичного риформінгу з поліметалевими каталізаторами, основними складовими яких є платина та рідкісноземельні метали.

Промислова установка каталітичного риформінгу включає три основні блоки:

- блок попереднього гідроочищення сировини;
- реакторний блок (блок риформінгу);
- блок стабілізації каталізату.

У разі виробництва індивідуальних ароматичних вуглеводнів до складу установки додатково входить блок їх виділення.

Дослідження установок із платиноренієвими каталізаторами показали доцільність нерівномірного розподілу каталізатора між трьома реакторами - орієнтовно у співвідношенні 1:2:4, що забезпечує підвищення ефективності процесу.

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою технологічного процесу попереднього гідроочищення сировини являється перетворення а також видалення речовин, котри призводять до дезактивації монометалевих а також і поліметалевих платинових каталізаторів риформінгу.

До таких речовин відносяться: сірчисті, азото- і киснево-вмісні сполуки, до складу котрих також входять метали та галогени, ненасичені вуглеводні.

Процес перетворення зазначених речовин відбувається на гідруючому каталізаторі.

Такі леткі продукти як аміак, сірководень, хлорид а також водень вилучаються з гідрогенізату шляхом відпарювання. Наявні металеві домішки залишаються на каталізаторі для гідроочищення.

Каталітичний риформінг складний хімічний процес, який включає в себе різноманітні перетворення вуглеводнів. Прямогонні бензинові фракції, які є сировиною цього процесу містять парафінові, нафтеніві і ароматичні вуглеводні C₆-C₁₀.

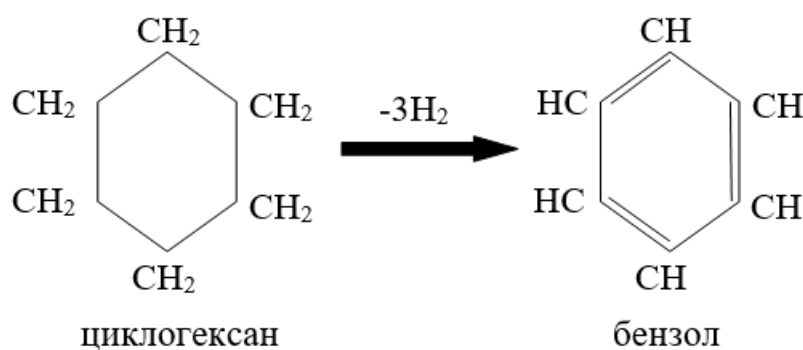
В результаті реакцій, які протікають на каталізаторах риформінгу здійснюються глибокі зміни вуглеводневого складу.

Технологічний процес каталітичного риформінгу складається із трьох основних реакцій перетворення вуглеводнів:

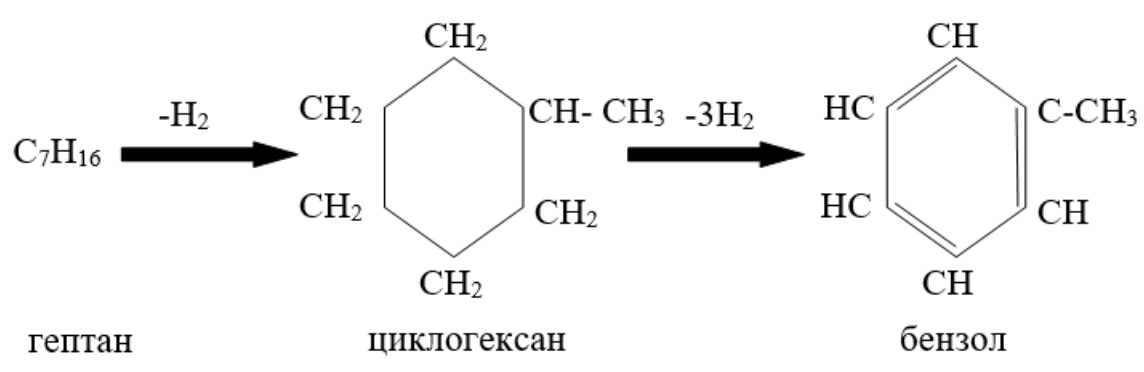
- ароматизація;
- ізомеризація;
- гідрокрекінг.

Найвагомішими являються реакції котрі викликають утворення ароматичних вуглеводнів. До таких реакцій відносяться хімічні реакції дегідрування шестичленних нафтенівих вуглеводнів а також дегідроциклізація парафінових вуглеводнів:

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

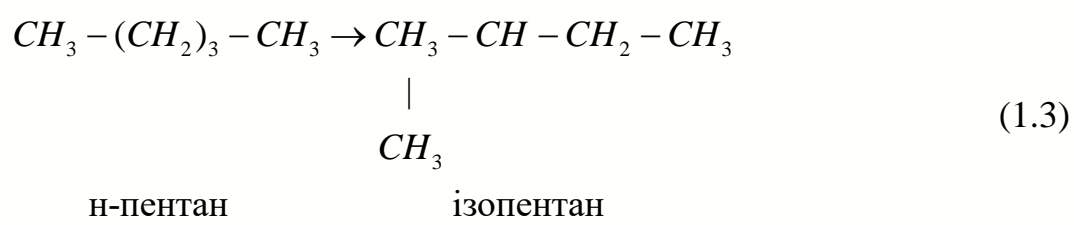


(1.1)



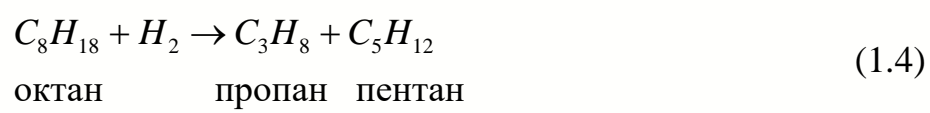
(1.2)

В той час, коли реакція (1.1) протікає з найбільшою швидкістю, то реакція (1.2) - з найменшою. Парафінові вуглеводні, які мають нормальну будову при каталітичному риформінгу можуть вступати до реакції ізомеризації:



(1.3)

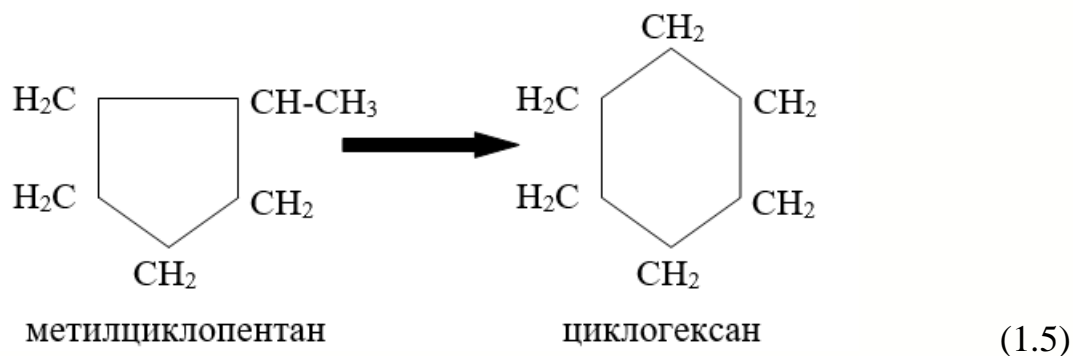
П'ятичленні нафтени, що містяться у сировині, безпосередньо не гідруються, але у випадку наявності каталізаторів риформінгу відбувається ізомеризація з активним утворенням шестичленних нафтенів, котрі в свою чергу здатні до процесу дегідрування:



(1.4)

Ця реакція є небажаною для процесу каталітичного риформінгу, оскільки призводить до зниження виходу цільового продукту - високооктанового бензину. Реакції ущільнення викликають утворення коксу на каталізаторі а також його дезактивацію, саме тому являються небажаними у процесі. З метою унеможливлення даних явищ процес риформінгу проводять у атмосфері водню за

ВИСОКОГО ТИСКУ.



Наявність високих температур у процесі викликає реакцію крекінгу. Утворювані осколки молекул в ході процесу можуть насичуватись воднем чи навіть вступати у реакції ущільнення. Процес насичення утворених осколків молекул воднем має назву - гідрокрекінг. Він викликає утворення вуглеводневих газів а також описується реакцією:



Дана реакція у процесі каталітичного риформінгу являється небажаною оскільки викликає зменшення виходу високооктанового бензину. Вона також викликає утворення коксу на каталізаторі та його дезактивацію, що теж являється небажаним.

Підсумовуючи усе сказане зазначимо, що процес риформінгу проходить у результаті змішування сировини із водневмісним газом. Проце проходить при нагріванні до температури близької до 500 °С. У результаті дії температури і каталізатора проходить зміна хімічної структури молекул сировини.

1.2 Характеристика сировини і одержуваних продуктів

Сировиною для каталітичного риформінгу слугують бензинові фракції з температурою початку кипіння від 60°C і вище та кінця кипіння не більше 180°C. Фракція з інтервалом до 60°C не містить вуглеводнів, здатних до утворення ароматичних сполук, тому вважається баластною. Використання ж сировини з кінцевою температурою кипіння понад 180°C призводить до інтенсивного

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

утворення коксу на каталізаторі та скорочення міжрегенераційного періоду роботи установки.

Для отримання високооктанових компонентів бензину зазвичай застосовують широку бензинову фракцію з інтервалом 85–180°C. У разі виробництва індивідуальних ароматичних вуглеводнів використовують більш вузькі фракції: для бензолу - 62–85°C, для толуолу – 85-105°C, для ксилолів та етилбензолу – 105-140°C. Важливою вимогою до сировини є надзвичайно низький вміст сірки (до 0,0001 % мас.), тому перед подачею на риформінг її піддають попередньому гідроочищенню з метою видалення гетероатомних сполук.

Характеристика бензинової фракції 85-180°C наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Характеристика сировини каталітичного риформінгу

Показники	Фракція 85-180°C
Густина при 20°C, кг/м ³	752
Фракційний склад, °C	
п.к	125
10%	129
50%	136
90%	156
к.к.	182
Вуглеводневий склад, % (мас.)	
ненасичені	1,5
ароматичні	13,4
нафтеніві	31,2
парафінові	53,9
Вміст, % (мас.)	
сірка	0,005
азот	-
октанове число	55

Як було сказано вище в процесі каталітичного риформінгу утворюються газу

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і рідини продукти - каталізат (рифформат). Промислові процеси каталітичного риформінгу здійснюються з використанням біфункціональних каталізаторів, які складаються з активного носія (зазвичай $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) з кислотними властивостями та нанесених на нього активних компонентів (Pt, Re, Pd, Ge тощо), що забезпечують гідруючо-дегідруючі реакції. Активність носія підвищують шляхом модифікації його поверхні галогеновмісними сполуками. Максимальна ефективність гідрування-дегідрування досягається за вмісту активних металів на рівні 0,08 - 0,10%, однак у промислових каталізаторах цей показник зазвичай становить 0,5-0,8%. Першим широко застосовуваним промисловим каталізатором був алюмоплатиновий (платиновий), на якому базувався процес платформінгу. Такі каталізатори містили 0,4–0,65 % мас. платини, нанесеної на оксид алюмінію. Вони характеризуються високою ефективністю, проте є чутливими до гетероатомних домішок і мають високу вартість.

Біметалічні каталізатори включають два активні компоненти, найчастіше платину та реній. Платино-ренієві системи містять менше платини (до 0,4 % мас.) та приблизно таку ж кількість ренію. Процес із використанням таких каталізаторів отримав назву реніформінгу. У порівнянні з платиновими, вони відзначаються підвищеною активністю, більшою стабільністю та дещо нижчою вартістю.

Найбільш досконалими є поліметалічні каталізатори, що містять три і більше металів (наприклад, Pt–Re–Ir або Pt–Re–Ge). Вони забезпечують найвищі показники активності та стабільності в промислових умовах. Крім того, їх застосування дозволило знизити робочі температури та тиск процесу, що сприяло зменшенню енергетичних витрат на експлуатацію установок.

У реакторному блоці установки каталітичного риформінгу застосовується платиновий каталізатор, який має тип R-86. Тому ми детальніше розглянемо його. Характеристика каталізатора R-86 наведена в таблиці 1.2.

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 - Характеристика каталізатора

Показники	R-86
Хімічний склад, % (мас.)	
платина	0,55
реній	0,5
протор кислотний	СІ
залізо	-
натрій	-
Питома поверхня, м ² /г	180

Основними продуктами каталітичного риформінгу є водневмісний газ, вуглеводневі гази, головка стабілізації та рідкий продукт - каталізат (реформат). Під час попереднього гідроочищення додатково утворюється невелика кількість сірководню. Каталізат являє собою бензинову фракцію з октановим числом 85 і вище (за моторним методом) і містить 50-70 % ароматичних, близько 30 % парафінових, 10-15 % нафтових та 1-2 % ненасичених вуглеводнів. Його використовують як високоякісний компонент бензину, а при ароматичному риформінгу - як сировину для виділення індивідуальних ароматичних сполук методом екстракції.

Вуглеводневі гази та головка стабілізації представлені переважно насиченими вуглеводнями С₁-С₄. Їх направляють на подальше розділення з подальшим використанням у схемах переробки нафтозаводських газів.

Водневмісний газ складається переважно з водню, який утворюється внаслідок основних реакцій риформінгу - дегідрування нафтенів та дегідроциклізації парафінів. Вміст водню може досягати 90 % об. і більше. Частину цього газу використовують для підтримання циркуляції, а основну кількість спрямовують на процеси гідроочищення та гідрокрекінгу. Сірководень, отриманий на стадії гідроочищення, застосовують як сировину для виробництва сірки.

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

1.3 Дослідження технологічної схеми реакторного блоку установки каталітичного риформінгу

Технологічна схема реакторного блоку наведена на рисунку 1.1. Сировина котра очищена від сірчистих та азотних сполук та охолоджена до температури 165°C сировина блоку попереднього гідроочищення насосами Н-2, Н-3 через фільтри А-14, А-15, що призначені для очищення гідрогенізату від води і механічних домішок, подається в трійник змішування з циркуляційним водневовмісним газом, який подається компресором ЦК-1.

Суміш гідрогенізату і циркулюючого водневовмісного газу направляється двома потоками в міжтрубний простір теплообмінників Т-6/1-4, Т-6а/1-4. В теплообмінниках газосировинна суміш підігривається до температури у межах 420-460°C за допомогою тепла, яке дає газопродуктова суміш, котра виходить із реактора Р-4 та відправляється у радіанну камеру печі П-1. В реакторі Р-4 проходять основні перетворення сировини, що видно по перепаду температури між входом і виходом, яка досягає 35-40°C і говорить про значний ендотермічний ефект процесу.

При температурі 480-520°C з печі П-1 наявна газосировинна суміш поступає у реактор Р-2, у котрому на платиновому каталізаторі за тиску до 3 МПа протікають реакції ароматизації сировини. В цьому реакторі перепад температур складає 10-15°C. Процес каталітичного риформування передбачено здійснювати в три ступені. Для цього наявна суміш проходить послідовно реактори Р-2,3,4. У двох останніх реакторах перепад температур складає 5-7°C.

Оскільки усі реакції ароматизації на платиновому каталізаторі відбуваються при негативному тепловому ефекті, саме тому передбачається багатоступеневий підігрів до потрібної температури в радіантних камерах печі П-1. Зміна сировини на різних ступенях становить: 1 ступінь у межах 50-60%, 2 ступінь у межах 28-30%, 3 ступінь у межах 10-14%. Підігрівання продукту в печі проводиться комбіновано: використовується 20% рідкого палива і 80% газоподібного палива.

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Газопродуктова суміш з реактора Р-4 з температурою 460-520°C двома паралельними потоками направляється в трубний простір теплообмінників Т-6/4-1, Т-6а/4-1 де відповідно охолоджується до температури у межах від 120 до 220°C, віддаючи при цьому тепло газосировинній суміші котра у подальшому направляється у піч П-1. Охолодження до температури нище 40°C суміші виконується у холодильниках Х-6/1 і Х-6/2, після яких вона надходить у сепаратор С-7, у якому під тиском до 3 МПа, відбувається розподіл газоподібної суміші на водень і нестабільний каталізатор. Нестабільний каталізатор з низу сепаратора С-7 відправляється на блок стабілізації. З серху сепаратора С-7 водень направляється в сепаратор С-9 після чого направляється на компресор ЦК-1.

Для регулювання кількості циркуляційного газу, що подається з компресора ЦК-1 в трійник змішування передбачена система перепускання частини циркуляційного водневоомісного газу з виходу компресора ЦК-1 через холодильник Х-7 на вхід компресора ЦК-1. Надлишок водневоомісного газу з викиду ЦК-1 скидається в лінію водневоомісного газу. Як було сказано раніше дослідження установок, працюючих на платиновому каталізаторі показало, що каталізатор слід цілеспрямовано розподіляти по трьох реакторах нерівномірно, приблизно у відношеннях 1:2:4.

1.4 Технічна характеристика технологічного устаткування

Технічну характеристику технологічного устаткування реакторного блоку каталітичного риформінгу наведено нище в таблицях 1.3, 1.4, 1.5.

Таблиця 1.3 - Технічна характеристика циркуляційних компресорів і насосів

Найменування обладнання	Позначення	Технічна характеристика			
		Насос		Електродвигун	
		Продуктивність, м ³ /год	Напір, Па	К-сть обертів, об/хв.	Потужність, кВт/год
Насос гідрогенізату	Н-2,3	55	6750	2985	150
Компресор відцентровий	ЦК-1	100200	4905	9240	2500

Таблиця 1.4 - Технічна характеристика теплообмінної і холодильної апаратури

Найменування обладнання	Позначення	Технічна характеристика				Поверхня теплообмінника
		Розрахункова температура		Розрахунковий тиск		
		Трубний простір, °C	Корпус, °C	Трубний простір, МПа	Корпус, МПа	
Теплообмінник продуктовий	Т-6	505-160	450-116	4,905	4,905	175,4
Холодильник продуктовий риформінгу	Х-6	45-25	160-35	0,441	4,905	175,4
Бийпасний холодильник	Х-7	25-105	65-105	0,490	0,981	30

Таблиця 1.5 - Технічна характеристика реакторів, сепараторів, фільтрів

Найменування обладнання	Позначення	Технічна характеристика			
		Розрахункова температура, °C	Розрахунковий тиск, МПа	Діаметр, м	Довжина, висота, м
Реактор риформінгу	Р-2	520	4,905	2,6	6,640
Реактор риформінгу	Р-3	520	4,905	2,6	6,440
Реактор риформінгу	Р-4	520	4,905	2,6	9,015

Найменування обладнання	Позначення	Технічна характеристика			
		Розрахункова температура, °С	Розрахунковий тиск, МПа	Діаметр, м	Довжина, висота, м
Сепаратор	С-7	35	3,826	1,93	7,3
Сепаратор	С-9	35	3,826	1,964	5,3
Фільтр гідрогенізату	А-14	160	5,395	0,76	2,282
Фільтр гідрогенізату	А-15	165	5,395	0,76	2,282

1.5 Вибір і обґрунтування параметрів контролю та регулювання процесу каталітичного риформінгу

На промислових установках риформінгу контролюють перепад температури по висоті реактора, перепад тиску на каталізаторі і температуру стінок реактора.

У промислових умовах процес каталітичного риформінгу здійснюється в середовищі водневмісного газу з концентрацією 70-90 % об. за таких параметрів: температура 470-520 °С, тиск 1,5-4,0 МПа, об'ємна швидкість подачі сировини -1,0-2,0 год⁻¹, кратність циркуляції водневмісного газу – 900-1500 м³/м³.

Базовими параметрами, котрі безпосередньо мають вплив на роботу установки є такі:

- температура сировини при вході у реактори;
- якість сировини;
- об'ємна швидкість подачі сировини;
- тиск та кратність циркуляції ВВГ.

Найбільший вплив на результати риформінгу зумовлюють: тиск, температура і об'ємна швидкість подачі сировини. Вплив інших параметрів менший, проте і їх необхідно враховувати.

					БР.АКПЗ-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

1.5.1 Якість сировини

На показники риформінгу великий вплив мають вуглеводневий і фракційний склади сировини. Вихід каталізатору і водневмісного газу, стабільність роботи каталізатора зростають при збільшенні у сировині нафтових і ароматичних вуглеводнів. Гетероорганічні сполуки та олефінові вуглеводні знижують працездатність каталізатора, тому їх вилучають гідроочищенням. Щодо фракційного складу, то оптимальною є фракція 85-180°C при одержанні високооктанового компонента бензину. Фракцію п.к. - 85°C переробляти недоцільно, так як при цьому збільшується вихід вуглеводневого газу за рахунок реакцій гідрокрекінгу. Помітного ж збільшення октанового числа бензину не проходить із-за відсутності у цій фракції нафтенів C₆. Кінець кипіння сировини обмежується тим, що вище 180°C у сировині містяться поліциклічні вуглеводні, які викликають інтенсивне закоксування каталізатора і його дезактивацію, внаслідок чого зменшується тривалість міжрегенераційного періоду в роботі установки риформінгу.

Вміст нафтових і ароматичних вуглеводнів у сировині визначається аналізатором, а фракційний склад - розгонкою на апараті Енглера.

Іншим фактором який впливає на процес каталітичного реформінгу являється температура на вході в реактори.

1.5.2 Температура на вході в реактори

Температуру сировинно-водневої суміші на вході до реакторів на початку реакційного циклу встановлюють так, щоб забезпечити необхідну якість каталізатору - задане октанове число або вміст ароматичних вуглеводнів. Як правило, початкове значення температури становить 470-500 °C. У міру закоксування каталізатора температуру на вході поступово підвищують, що дозволяє підтримувати стабільні показники якості каталізатору. У випадку зниження температури за інших незмінних умов відбувається збільшення виходу бензину а також зниження виходу газів та відповідно зменшення коксоутворення. Це викликає також зменшення октанового

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

числа бензину.

У випадку надмірного підвищення температури підвищується також коксоутворення на катализаторі, поряд з цим збільшується також вихід газів унаслідок проходження реакцій гідрокрекінгу.

Температура сировини на вході в реактори регулюється подачею палива в трубчасту піч, де підігрівається сировина.

1.5.3 Об'ємна швидкість подачі сировини

Об'ємна швидкість подачі сировини - це показник, що визначається як відношення об'єму сировини, яка надходить у реактор протягом однієї години, до об'єму катализатора, розміщеного в реакційній зоні.

Зазвичай, вона становить $1,0 \dots 2,0 \text{ год}^{-1}$. При інших рівних умовах зменшення об'ємної швидкості сировини викликає такий самий ефект, як збільшення температури, а саме: збільшення виходу газу а також коксу; зменшення виходу катализату; збільшення октанового числа.

Застосування надто низьких об'ємних швидкостей подачі сировини є економічно недоцільним, оскільки це призводить до суттєвого збільшення габаритів реакторів або зниження продуктивності установки. Об'ємна швидкість сировини регулюється кількістю сировини, що подається на установку.

1.5.4 Тиск в реакторах

Тиск у середині реакторів залежить безпосередньо від типу катализатора та відповідно складає до 4 МПа для алюмоплатинового катализатора та $1,5 \dots 2,0$ МПа для бі- і поліметалевих катализаторів. У випадку підвищення тиску досить різко знижується коксо- та газоутворення. У цей же час збільшення тиску викликає сповільнення реакцій ароматизації, що відповідно викликає певне зниження бензинового октанового числа.

Клапаном, що змонтований на лінії виведення газоподібних продуктів із реактора регулюється автоматично тиск у реакторі.

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

1.5.5 Кратність циркуляції водневмісного газу

Кратність циркуляції водневмісного газу (ВВГ) визначається як об'єм газу, що подається на одиницю об'єму сировини за нормальних умов і зазвичай становить 900-1500 м³/м³. Розбавлення парів сировини воднем зменшує інтенсивність закоксування каталізатора та подовжує термін його експлуатації. Водночас підвищення кратності циркуляції ВВГ супроводжується зростанням енергетичних витрат, пов'язаних із роботою установки риформінгу.

Кількість циркулюючого ВВГ регулюється кількістю ВВГ, котрий додається до наявної сировини.

1.5.6 Перепад температури по висоті реактора

Температурний перепад по висоті реактора служить характеристикою активності каталізатора. По мірі відпрацювання каталізатора, відкладенню коксу на ньому, зниженню концентрації водню у циркулюючому ВВГ перепад температур по висоті реактора зменшується.

Перепад температури підтримується в межах 10°C і контролюється п'ятьма термопарами.

1.5.7 Перепад тиску на каталізаторі

На шарі каталізатора існує завжди перепад тиску, який викликаний гідравлічним опором каталізатора. Відсутність чи зменшення перепаду тиску характеризує те, що у шарі каталізатора появилися канали через які рухаються пари воднево-сировинної суміші. Вся суміш проходить через наявний каталізатор без великої зміни існуючої структури, що відповідно є небажаним.

Перепад тиску на каталізаторі контролюється дифманометром.

1.5.8 Температура стінок реактора

Контроль температури стінок реактора відбувається за допомогою термопар. За температури вищої 260°C водень починає частково розчинятися в металі і

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

викликає зміну його структури. Як результат цього матеріал стінок реактора частково починає втрачати свої властивості та можлива поява мікротріщин для проходження водневмісного газу.

Діапазони зміни параметрів контролю та регулювання на реакторному блоці наведені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 - Діапазони зміни параметрів контролю та регулювання

Найменування параметра	Номер позначення на ФСА	Вимірювані одиниці	Діапазон зміни
Витрата гідрогенізату від насосів Н-2,3	18	м ³ /год	не більше 60
Тиск на виході з Р-4	12	МПа	2,0-3,0
Температура газопродуктової суміші на виході Т-6/1-4	4	°С	120-220
Температура газопродуктової суміші на виході Т-6а/1-4	6	°С	120-220
Температура газопродуктової суміші на виході з Х-6/1	8	°С	не вище 40
Температура газопродуктової суміші на виході з Х-6/2	10	°С	не вище 40
Тиск в сепараторі С-7	13	МПа	2,0-2,5
Рівень бензину в С-9	22	м	1,6

1.6 Вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу

В даному проекті розглядається установка каталітичного риформінгу. Для автоматизації установки доцільно використати сучасний промисловий контролер, який здатен забезпечити вирішення багатьох задач керування. Контролер повинен дозволяти вести локальне, каскадне та багатозв'язане регулювання.

В якості джерел одержання інформації потрібно встановлювати сучасні технічні засоби автоматизації, котрі за своїми технічними характеристиками дозволяють виконувати з'єднання із мікропроцесорним контролером. Такими засобами є давач температури, сигнал якого іде в блок, а також газоаналізатор.

Для передавання керуючого впливу на виконавчий механізм електропневматичний перетворювач здійснює перетворення уніфікованого струмового сигналу з контролера в уніфікований пневматичний сигнал.

Висновки до розділу

В даній частині бакалаврської роботи було розглянуто призначення установки, хімізм та суть процесу каталітичного реформінгу, дано характеристику сировини і продуктів реакторного блоку. А також здійснений опис технологічної схеми, наведені характеристики задіяного технологічного обладнання: реакторів, печі, сепараторів холодильників, теплообмінників.

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1 Аналіз об'єкта керування

Як було сказано в розділі 1 процес отримання стабільного каталізатору бензину - відбувається на стадії риформінгу в реакторах риформіга, тепловий режим яких залежить від багатьох факторів, які забезпечують і теплообмінник Т-6/1,2,3,4, і холодильник Х-6/1,2. Тобто система Т-6/1,2,3,4 - Х-6/1,2 забезпечують температурний режим колони як реакторів, так і блока стабілізації установки риформінгу. Саме тому у якості об'єкта керування розглядатимемо теплообмінник Т-6/1,2,3,4.

Температура на виході теплообмінника вуглеводневої рідинної суміші є головним показником ефективності нагріву, а метою керування підтримання цієї температури на певному рівні.

Позначимо через $F_{т.н.}$ масову кількість вуглеводневої рідинної суміші, а через $T_{вих}$ температуру на виході теплообмінника. До збурюючих факторів можна віднести температуру $T_{гидр.}$ і тиск $P_{гидр.}$ гідрогенізатору.

Отже структурну схему керованого об'єкта можна представити як (рис. 2.1)



$T_{гидр.}$ - температура гідрогенізатору; $P_{гидр.}$ - тиск гідрогенізатору; $T_{вих}$ - температура на виході теплообмінника; $F_{т.н.}$ - витрата теплоносія в теплообмінник; U - положення регулюючого органу

Рисунок 2.1 - Структурна схема керованого об'єкта

					БР.АКПЗ-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Показники якості системи керування

Метою САК є підтримання температури вуглеводневої рідинної суміші на виході теплообмінника на певному рівні.

Оцінювати якісні показники системи будемо за такими показниками:

- максимальна похибка апроксимації - 2,5%;
- перерегулювання повинно бути менше - 20%;
- тривалість перехідного процесу.

2.3 Встановлення динамічних властивостей керованого об'єкта

З огляду на те, що математичне моделювання теплообмінника є досить складним і потребує значних часових витрат, доцільно визначати динамічні властивості об'єкта керування експериментальним шляхом, зокрема через проведення активного експерименту.

Результати експериментального дослідження за каналами регулювання:

- основним: положення РО - температура на виході із теплообмінника;
- допоміжним: положення РО - витрата теплоносія в теплообмінник;

наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Результати експериментального дослідження

t, c	%, ВХ	$T_{вих}, ^\circ C$	$F_{т.н.}, m^3/год$
0	15	120	30
30	15	120	41,4
60	15	139	48,6
90	15	165	53,1
120	15	186	56,4
150	15	202	57,9
180	15	209	58,8
210	15	214	59,1
240	15	216	59,4

t, c	%, ВХ	$T_{вих}, ^\circ C$	$F_{m.n.}, M^3/ГОД$
270	15	218	59,7
300	15	219	59,7
330	15	219	59,7
360	15	219	60
390	15	220	60
420	15	220	60
450	15	220	60

Побудуємо графіки перехідних процесів за допомогою даних наведених у таблиці 2.1.

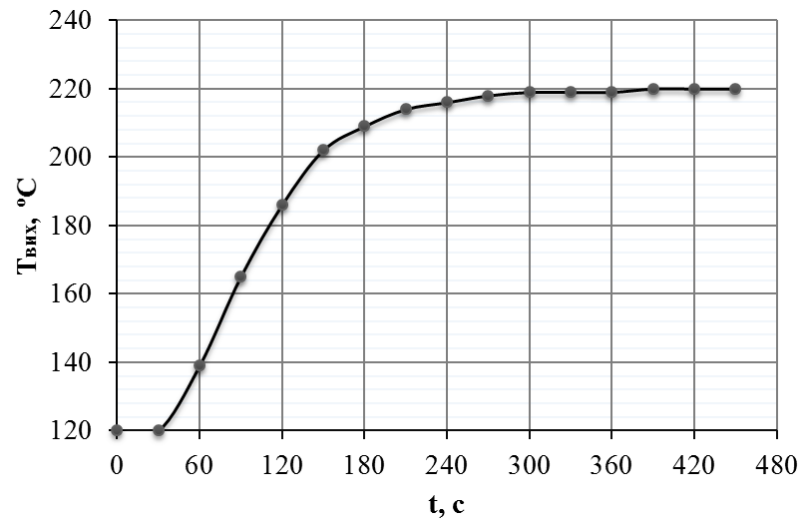


Рисунок 2.2 - Перехідна характеристика за основним каналом керування

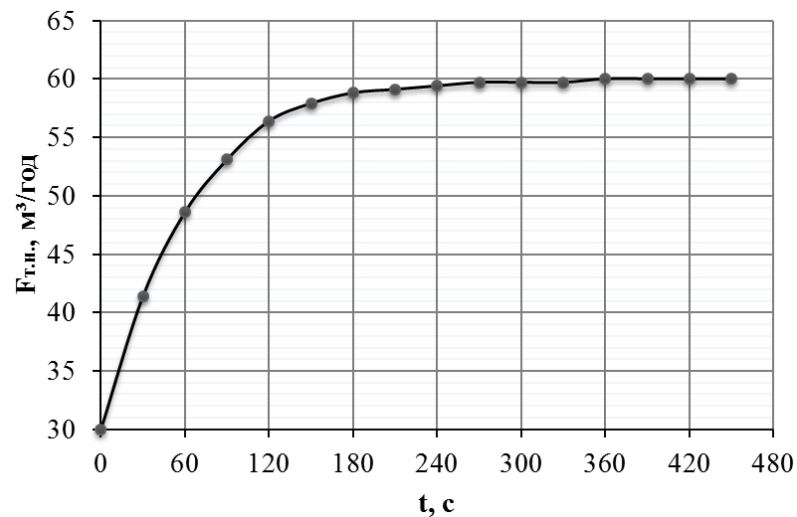


Рисунок 2.3 - Перехідна характеристика за допоміжним каналом керування

Для виконання апроксимації експериментальних даних їх потрібно перевести до безрозмірного вигляду:

$$X_{\text{ex}i}^* = \frac{X_{\text{ex}i} - X_{\text{ex}0}}{X_{\text{ex} \max} - X_{\text{ex}0}}, \quad Y_{\text{вих}i}^* = \frac{Y_{\text{вих}i} - Y_{\text{вих}0}}{Y_{\text{вих} \max} - Y_{\text{вих}0}}, \quad (2.1)$$

де $X_{\text{ex}i}$ - вхідна величина в певний момент часу;

$Y_{\text{вих}i}$ - вихідна величина в певний момент часу;

$X_{\text{ex} \max}$ - максимальне значення вхідної величини;

$X_{\text{ex}0}$ - початкове значення вхідної величини;

$Y_{\text{вих}0}$ - початкове значення вихідної величини;

$Y_{\text{вих} \max}$ - максимальне значення вихідної величини.

На основі наведених вище формул та даних наведених у таблиці 2.1 здійснимо розрахунок для даних основного каналу автоматичного регулювання:

$$x_{\text{ex}} = 1;$$

$$y_{\text{вих}0} = \frac{120 - 120}{220 - 120} = 0;$$

$$y_{\text{вих}1} = \frac{120 - 120}{220 - 120} = 0;$$

$$y_{\text{вих}2} = \frac{139 - 120}{220 - 120} = 0.19;$$

$$y_{\text{вих}3} = \frac{165 - 120}{220 - 120} = 0.45;$$

$$y_{\text{вих}4} = \frac{186 - 120}{220 - 120} = 0.66;$$

$$y_{\text{вих}5} = \frac{202 - 120}{220 - 120} = 0.82;$$

$$y_{\text{вих}6} = \frac{209 - 120}{220 - 120} = 0.89;$$

$$y_{\text{вих}7} = \frac{214 - 120}{220 - 120} = 0.94;$$

$$y_{\text{вих}8} = \frac{216 - 120}{220 - 120} = 0.96;$$

$$y_{\text{вих}9} = \frac{218 - 120}{220 - 120} = 0.98;$$

$$y_{\text{вих}10-12} = \frac{219 - 120}{220 - 120} = 0.99;$$

$$y_{\text{вих}13-15} = \frac{220 - 120}{220 - 120} = 1.$$

Дані, які нами отримано зведемо до таблиці 2.2.

					БР.АКПЗ-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Обчислені безрозмірні значення основного каналу регулювання

t, c	x_{ex}	$y_{вих}$	t, c	x_{ex}	$y_{вих}$
0	1	0	240.0	1	0,961
30.0	1	0	270.0	1	0,980
60.0	1	0,191	300.0	1	0,990
90.0	1	0,450	330.0	1	0,990
120.0	1	0,662	360.0	1	0,990
150.0	1	0,821	390.0	1	1
180.0	1	0,892	420.0	1	1
210.0	1	0,941	450.0	1	1

Побудуємо графік перехідного процесу основного каналу регулювання за допомогою даних наведених у таблиці 2.2.

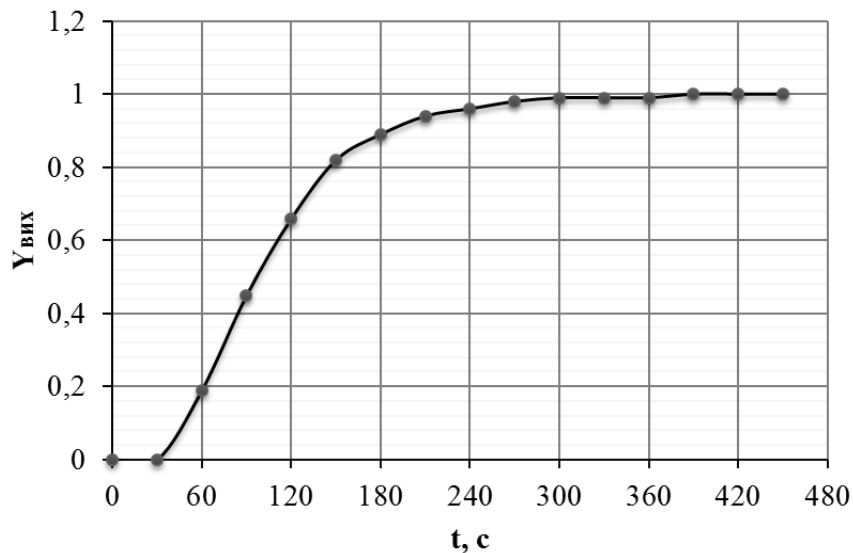


Рисунок 2.4 – Безрозмірна перехідна характеристика основного каналу регулювання у безрозмірних одиницях

Апроксимацію обчислених значень основного каналу виконаємо за допомогою використання Аргох. Згідно з додатком А1 максимальна похибка апроксимації рівна є рівною 1,7% у точці $t = 150$ с, а передавальна функція має такий вигляд:

$$W(p) = \frac{-16.862p + 1}{16095.457p^3 + 2463.248p^2 + 92.337p + 1}$$

Розрахунок для допоміжного каналу виконаємо за допомогою таких самих обчислень.

$$y_{вих0} = \frac{30 - 30}{60 - 30} = 0;$$

$$y_{вих1} = \frac{41,4 - 30}{60 - 30} = 0,38;$$

$$y_{вих2} = \frac{48,6 - 30}{60 - 30} = 0,62;$$

$$y_{вих3} = \frac{53,1 - 30}{60 - 30} = 0,77;$$

$$y_{вих4} = \frac{56,4 - 30}{60 - 30} = 0,88;$$

$$y_{вих5} = \frac{57,9 - 30}{60 - 30} = 0,93;$$

$$y_{вих6} = \frac{58,8 - 30}{60 - 30} = 0,96;$$

$$y_{вих7} = \frac{59,1 - 30}{60 - 30} = 0,97;$$

$$y_{вих8} = \frac{59,4 - 30}{60 - 30} = 0,98;$$

$$y_{вих9-11} = \frac{59,7 - 30}{60 - 30} = 0,99;$$

$$y_{вих12-15} = \frac{60 - 30}{60 - 30} = 1;$$

$$x_{вх} = 1.$$

Дані, які нами отримано по допоміжному каналу зведемо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Обчислені безрозмірні значення допоміжного каналу регулювання

t, c	$x_{вх}$	$y_{вих}$	t, c	$x_{вх}$	$y_{вих}$
0	1	0	240	1	0,98
30	1	0,38	270	1	0,99
60	1	0,62	300	1	0,99
90	1	0,77	330	1	0,99
120	1	0,88	360	1	1
150	1	0,93	390	1	1
180	1	0,96	420	1	1
210	1	0,97	450	1	1

Побудуємо графік перехідного процесу основного каналу регулювання за допомогою даних наведених у таблиці 2.3.

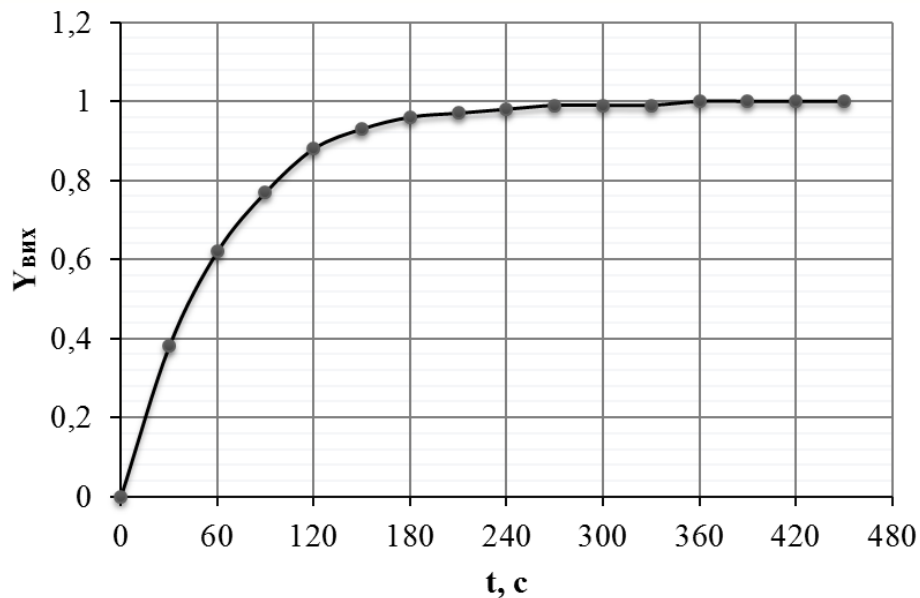


Рисунок 2.5 - Безрозмірна перехідна характеристика допоміжного каналу регулювання у безрозмірних одиницях

Апроксимацію обрахованих значень допоміжного каналу виконаємо за допомогою використання Аргох. Згідно з додатком А2 максимальна похибка апроксимації рівна є рівною 1,7% у точці $t = 120$ с, а передавальна функція має такий вигляд:

$$W(p) = \frac{1}{60.2p + 1}$$

Висновки до розділу

У даному розділі для вибраного об'єкта керування побудовано структурну схему із точки зору об'єкта автоматизації. Апроксимовано дані експериментальних досліджень котрі було отримано під час проведення активного експерименту. Знайдено передавальні функції за каналами регулювання.

3 СИНТЕЗ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Розробка одноконтурної САК

В одноконтурній системі автоматичного керування використовується ПІ-закон регулювання, для якого передавальна функція в загальному вигляді має наступний вигляд:

$$W_p(p) = \frac{C_1 p + C_0}{p}.$$

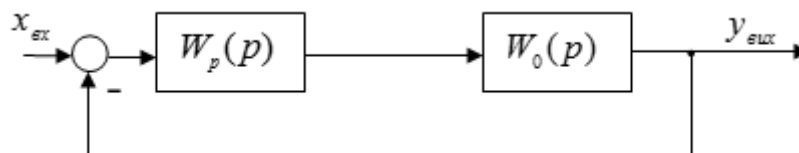
Знайдемо параметри налаштування регулятора C_0 і C_1 . Знайдемо передавальну функцію замкненої системи.

Передавальна функція розімкнутої системи має вид:

$$W_{роз}(p) = \frac{-16.862p + 1}{16095.457p^3 + 2463.248p^2 + 92.337p + 1} \cdot W_p(p);$$
$$W_{роз}(p) = \frac{-16.862p + 1}{16095.457p^3 + 2463.248p^2 + 92.337p + 1} \cdot \frac{C_1 p + C_0}{p} =$$
$$= \frac{(-16.862p + 1)(C_1 p + C_0)}{16095.457p^4 + 2463.248p^3 + 92.337p^2 + p}.$$

В символному передавальна функція замкнутої САК, схема котрої відображена на рисунку 3.1, є такою:

$$W_{зам}(p) = \frac{W_{роз}(p)}{1 + W_{роз}(p)}.$$



$W(p)$ - передавальна функція керованого об'єкту; $W_p(p)$ - передавальна функція регулятора

Рисунок 3.1 - Структура одноконтурної САК

$$W_{зам}(p) = \frac{(-16.862p + 1)(C_1p + C_0)}{16095.457p^4 + 2463.248p^3 + 92.3371p^2 + p} =$$

$$1 + \frac{(-16.862p + 1)(C_1p + C_0)}{16095.457p^4 + 2463.248p^3 + 92.3371p^2 + p}$$

$$= \frac{(-16.862p + 1)(C_1p + C_0)}{16095.457p^4 + 2463.248p^3 + 92.3371p^2 + p + (-16.862p + 1)(C_1p + C_0)}$$

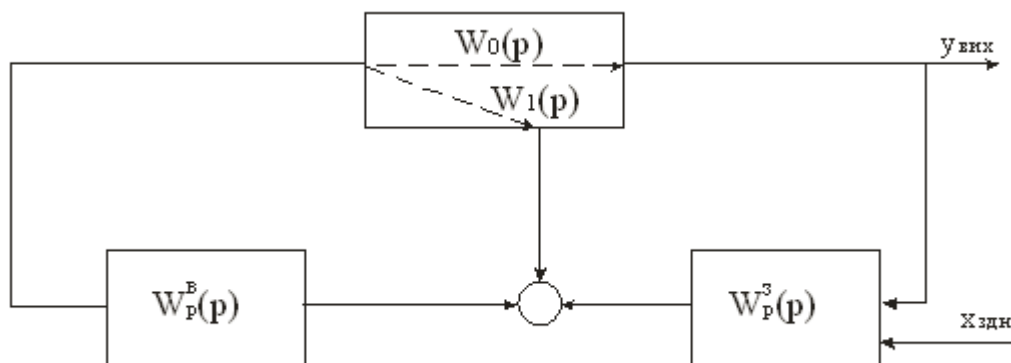
Дослідження оптимальних параметрів регулятора здійснено з використанням підпрограми Tune програмного продукту MatLAB. Результати проведеного дослідження відображені у додатку Б1 і є такими: $K_p = C_1 = 0.5925$, $K_i = C_0 = 0.0089$.

Підставивши їх у символічну функцію передачі замкненої САК отримаємо:

$$W_{зам}(p) = \frac{-9.991p^2 + 0.4425p + 0.0089}{16095.457p^4 + 2463.248p^3 + 82.346p^2 + 1.4425p + 0.0089}$$

3.2 Розробка каскадної САК

Додамо до основного контуру регулювання ще контур регулювання витрати теплоносія, який являється малоінерційним. Схема автоматизації у випадку використання каскадної САК представлена на рисунку 3.2.



$W_1(p)$ - передавальна функція по допоміжного каналу; $W_0(p)$ - передавальна функція по основному каналу; $W_p^3(p)$ - передавальна функція зовнішнього регулятора; $W_p^e(p)$ - передавальна функція внутрішнього регулятора

Рисунок 3.2 - Структура каскадної АСК

Розрахунок каскадної САК розпочнемо із регулятора, який є основним. Це пов'язано з тим, що інерційність допоміжного каналу являється набагато меншою ніж основного. Для даного об'єкта передавальна функція має вид:

$$W_e'(p) = \frac{W_p^e(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_p^e} W_0(p).$$

У випадку коли частота основного контуру регулювання W_p' є суттєво меншою за частоту допоміжного регулятора W_p'' і при $W = W_p'$ буде справедливою така нерівність:

$$\frac{1}{(W_p^e(j\omega))} \ll (W_1(j\omega)).$$

У такому випадку справедливим буде вираз $W_e' = \frac{W_0(p)}{W_1(p)}$. Враховуючи наведені вище значення $W_0(p)$ і $W_1(p)$, можемо отримати:

Оскільки:

$$W_0(p) = \frac{-16.862p + 1}{16095.457p^3 + 2463.248p^2 + 92.337p + 1}.$$

$$W_1(p) = \frac{1}{60.2p + 1}.$$

$$W_e'(p) = \frac{-16.862p + 1}{16095.457p^3 + 2463.248p^2 + 92.337p + 1} = \frac{1}{60.2p + 1} = \frac{-1015.0924p^2 + 43.338p + 1}{16095.457p^3 + 2463.248p^2 + 92.337p + 1}.$$

Вибиремо для даного контуру регулювання ПІ-регулятор.

Визначення параметрів налаштування регулятора

Виконаємо визначення параметрів налаштування регулятора знову за допомогою використання продукту Matlab. Отже отримано, що $K_p = C_1 = 0,4098$, $K_i = C_0 = 0,0165$.

У такому випадку передавальна функція для основного регулятора буде

					БР.АКПЗ-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

такою:

$$W_p^3(p) = \frac{0,4098p + 0,0165}{p}$$

З урахуванням отриманого запишемо функцію передачі для внутрішнього (допоміжного) регулятора:

$$\begin{aligned} W_e''(p) &= W_1(p) + W_0(p) \cdot W_p^3(p) = \\ &= \frac{-16.8621p + 1}{16095.4571p^3 + 2463.2480p^2 + 92.3372p + 1} \cdot \frac{0,4098p + 0,0165}{p} + \frac{1}{60.2p + 1} = \\ &= \frac{16095.4571p^4 + 2047.263p^3 + 93.348p^2 + 2.1249p + 0.0165}{968946.5113p^5 + 164382.9861p^4 + 8021.9351p^3 + 152.537p^2 + p} \end{aligned}$$

Функція передачі регулятора після визначення параметрів (додаток Б3) та підстановок є наступною:

$$W_p^6(p) = \frac{131.8 \cdot p + 5.0461}{p}$$

Для каскадної САК еквівалентна функція передачі є такою:

$$\begin{aligned} W_e^{кас}(p) &= \frac{W_p^3(p)W_0(p)W_p^6(p)}{W_p^3(p)W_0(p)W_p^6(p) + W_1(p)W_p^6(p) + 1} = \\ &= \frac{-54826.8050p^4 - 1965.8251p^3 + 153.361p^2 + 7.852p + 0.083}{968946.51p^6 + 2285764.22p^5 + 359068.89p^4 + 22786.28p^3 + 752.091p^2 + 12.9p + 0.083} \end{aligned}$$

3.3 Виконання дослідження стійкості одноконтурної САК

Виконуватимемо дослідження стійкості за критерієм Михайлова відповідно до якого САК яка описується рівнянням n -ного буде стійкою коли годограф проти годинникової стрілки пройде n квадрантів та піде у ∞ .

Виділивши характеристичний поліном одержимо:

$$\begin{aligned} F(p) &= 16095.4570p^4 + 2463.2480p^3 + \\ &+ 82.346p^2 + 1.4425p + 0.0089. \end{aligned}$$

Після прирівняння до нуля та заміни $p = j\omega$ одержимо:

$$16095.457\omega^4 - 2463.248j\omega^3 - 82.346\omega^2 + 1.4425j\omega + 0.0089 = 0.$$

З отриманого рівняння виділимо дійсну та відповідно уявну частини:

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P(\omega) = 16095.457\omega^4 - 82.346\omega^2 + 0.0089;$$

$$Q(\omega) = -2463.248\omega^3 + 1.4425\omega.$$

Безпосередню побудову годографа Михайлова (Додаток В1) виконано за допомогою застосування програмного пакету Mathcad. У нашому випадку годограф проходить чотири квадранти, як і степінь характеристичного рівняння. Система стійка.

3.4 Виконання дослідження стійкості каскадної САК

Виділивши характеристичний поліном, прирівнявши до нуля та здійснивши заміну $p = j\omega$ отримаємо:

$$-968946.5\omega^6 + 2285764.2j\omega^5 + 359068.89\omega^4 - 22786.28j\omega^3 - 752.09\omega^2 + 12.9j\omega + 0.0833 = 0.$$

З наведеного рівняння випишемо дійсну а також уявну частини рівняння:

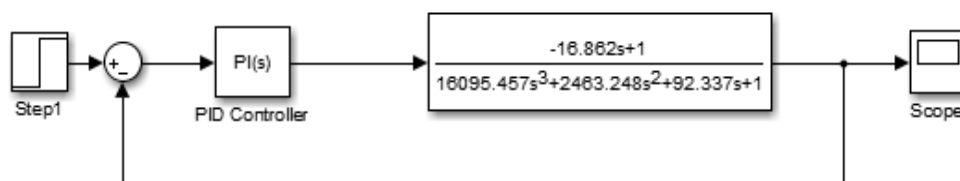
$$P(\omega) = -968946.5\omega^6 + 359068.89\omega^4 - 752.09\omega^2 + 0.0833;$$

$$Q(\omega) = 2285764.2\omega^5 - 22786.28\omega^3 + 12.9\omega.$$

Побудову годографа Михайлова (Додаток В2) виконано за допомогою застосування програмного пакету Mathcad. У нашому випадку годограф проходить шість квадрантів, як і степінь характеристичного рівняння. Система стійка.

3.5 Визначення якісних показників САК

Визначатимемо якісні показники САК за графіками перехідних процесів. Для побудови графіків одноконтурної та каскадної САК використовуватимемо Matlab (рис. 3.3, 3.4).



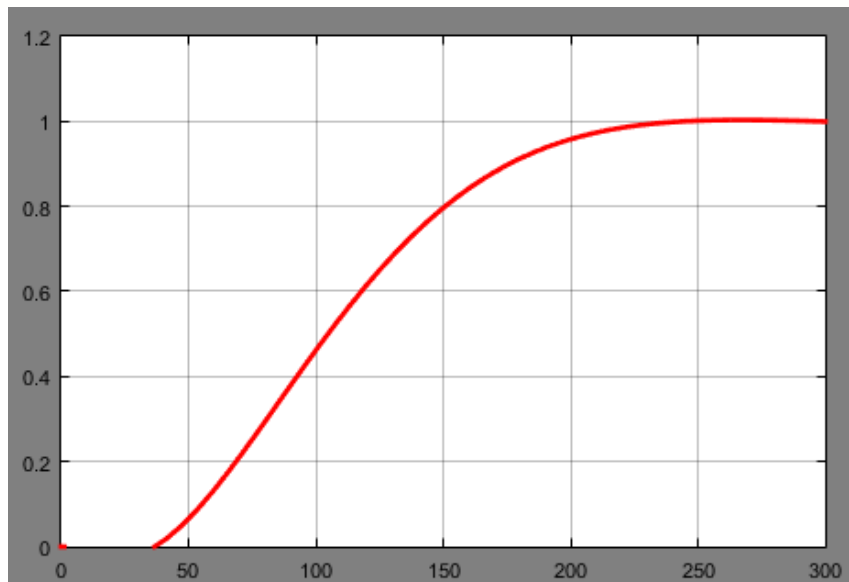


Рисунок 3.3 – Графік перехідного процесу одноконтурної САК

З рисунку 3.3 виділимо такі показники:

- тривалість перехідного процесу – 225 с.;
- перерегулювання – 0%.

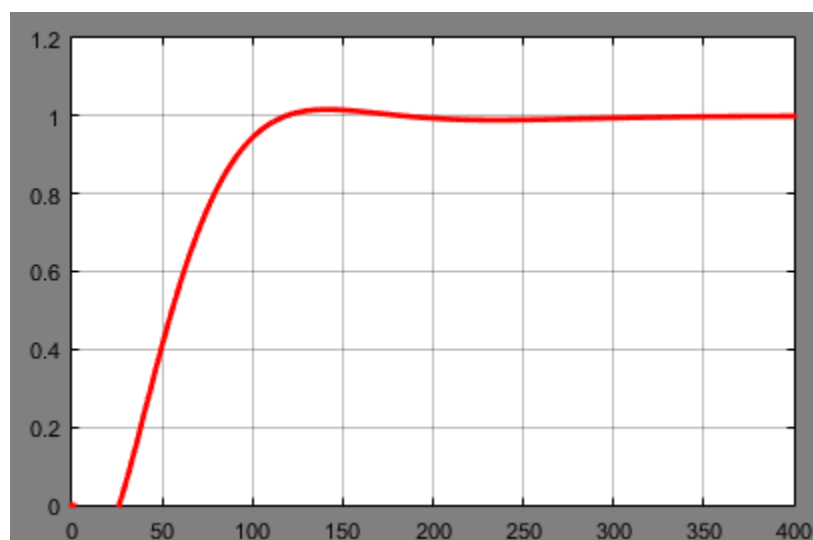
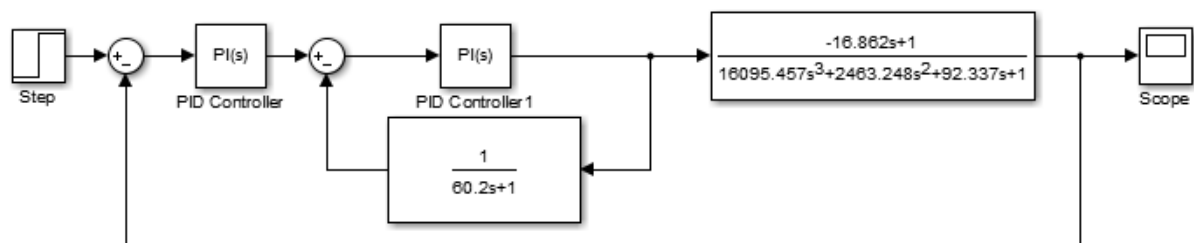


Рисунок 3.4 - Графік перехідного процесу каскадної САК

З рисунку 3.4 виділимо такі показники:

- тривалість перехідного процесу – 120 с.;

- перерегулювання – 1%.

Висновки до розділу

Розроблено каскадну та одноконтурну системи автоматичного керування, для яких із використанням програмного забезпечення Matlab визначено оптимальні параметри налаштування. Проведено дослідження стійкості систем і оцінено їхні якісні показники.

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА САК

4.1 Розробка структурної схеми автоматизації

Призначення структурних схем полягає у визначенні системи контролю та керування виробничим процесом заданого об'єкта, а також у встановленні взаємозв'язків між щитами та пультами керування. Крім того, вони дають змогу визначити адміністративно-технічну структуру централізованого об'єкта.

Розроблену систему розглядають як багаторівневу, що складається з трьох рівнів керування: рівень - 0; рівень - 1; рівень - 2.

Рівень 0 є рівнем засобів автоматизації, які розташовані безпосередньо поблизу технологічного обладнання. Він включає вимірювальні прилади та датчики, вимірювальні перетворювачі, виконавчі механізми, а також локальні системи автоматизації.

Рівень 1 являє собою рівень на якому розташовані апаратні засоби контролю та керування.

На рівні 1 забезпечується прийом інформації технологічного процесу, системі механізмів вимірювальних параметрів, оброблення цієї інформації згідно з 3 програмою, видавання сигналу автоматичного керування та передачу такої інформації другий рівень.

Засоби першого рівня дозволяють проводити технологічний процес без використання технічних засобів другого рівня.

Рівень 2 є рівнем «людина–машина» і призначений для обробки та візуалізації технологічної інформації, а також для диспетчерського керування. Верхній рівень реалізується на базі персонального комп'ютера, який додатково оснащується картою МРІ.

Обладнання другого рівня забезпечує приймання інформації про перебіг технологічного процесу та стан обладнання. Крім того, воно надає оператору можливість здійснювати дистанційне керування технологічним процесом.

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Вибір технічних засобів контролю і управління

Здійснивши гратковий аналіз процесу обрано для даного проекту технічну базу від Siemens AG. Досконале конструктивне виконання, децентралізована структура, зручність в користуванні і обслуговуванні визначають обладнання як Siemens, як надійну конструкцію для реалізації різноманітних забач керування.

SIMATIC Process Control System 7 (PCS 7) є новою системою управління процесами, побудована у відповідності в концепцією SIEMENS "повністю інтегрована автоматизація". Ця система ідеально підходить для автоматизації технологічних процесів в різних областях промисловості. Вона базується на використанні стандартних засобів SIMATIC S7, функціональні можливості яких істотно розширені новим програмним забезпеченням. Пропонований комплекс програмних і апаратних засобів дозволяє успішно вирішувати типові задачі автоматичного управління. Система SIMATIC PCS 7 включає в свій склад:

- Програмовані контролери SIMATIC S7-300,400.
- Системи розподіленого вводу-виводу SIMATIC DP, побудовані на основі станцій ET 200M/X/iS.
- Промислове програмне забезпечення - система розробки на мові STEP 7, включає CFC, SFC, SCL і SIMATIC Manager.
- Системи людино-машинного інтерфейсу SIMATIC HMI: робочі станції, робочі термінали на основі WinCC.
- Промислові мережі SIMATIC NET: PROFIBUS і Industrial Ethernet.
- Пакет BATCH flexible.
- Зв'язок з системами верхнього рівня і заводського управління WinCC.

Обладнання нижнього (нульового рівня) вибираємо орієнтуючись на вітчизняного виробника.

Рівень 1 реалізуємо на базі центрального процесора CPU 313C, модуля дискретного вводу SM321 (D132) модуля дискретного виводу SM322 (D08), модуля аналогового вводу SM331 (A18), модуля аналогового виводу SM332 (A08).

Центральний процесор CPU 313C призначається для створення простих

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

систем автоматичного керування. Наявність вбудованих входів і виходів для введення і виведення дискретних і аналогових сигналів дозволяє використовувати CPU 313C, як автономний блок керування.

Інтегровані технологічні функції істотно розширюють спектр можливих областей використання:

- функції швидкісного рахунку;
- функції вимірювання частоти;
- функції ПІД регулювання.

На рисунку 4.1 показаний зовнішній вигляд блока керування CPU 313C.



Рисунок 4.1 - Блок керування CPU 313C

Центральний процесор CPU 313C характеризується за допомогою застосування таких показників:

- Мікропроцесор з часом спрацювання 100 – 200 нс на виконання логічної операції з бітами.

- Запам'ятовуючий пристрій: швидкісний оперативний запам'ятовуючий пристрій об'ємом 32Кбайт (приблизно 10К операцій) для виконання програми; мікро карта пам'яті об'ємом до 4Мбайт, що використовується як пам'ять завантаження і надає можливість зберігати всі дані проекту, включаючи символічні змінні і коментарі до програми.

- Гнучке розширення з можливістю підключення до 31 модулів S7-300 (4-

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рядкова конфігурація).

- Вбудований MPI інтерфейс: дозволяє встановлювати одночасно до 8 з'єднань із програматорами, програмованими контролерами S7-300/400, комп'ютерами а також панелями оператора. Одне з'єднання зарезервовано для зв'язку з програматором або панеллю оператора. MPI може бути використаний для побудови найпростішої мережі з підключенням до 16 центральних процесорів і підтримкою механізму передачі глобальних даних.

- Наявність парольного захисту здатне забезпечити захист програми від можливого несанкціонованого доступу.

- Наявний діагностичний буфер використовується для зберігання 100 останніх сповіщень про переривання та відмови. Наявна у буфері інформація застосовується для аналізу причин, які викликали зупинку центрального процесора.

- Необслуговуваний захист даних: при перебоях в живленні всі реманентні дані автоматично записуються центральним процесором в мікро карту пам'яті.

- Вбудовані входи-виходи: CPU 313C оснащений 24 дискретними входами (всі можуть використовуватися як входи апаратних переривань) і 16 дискретними виходами, 4 аналоговими входами, 2 аналоговими виходами, 1 входом PtI/O.

- Вбудовані комунікаційні функції:

- PG/OP-функції зв'язку;
- базові функції 87-зв'язку;
- розширені функції 87-зв'язку (тільки сервер).

Апаратура передачі даних служить для обміну інформацією між контролером і операторською станцією. При цьому використовується мережа - інтерфейс MPI (Multi Point Interface).

Інтерфейс MPI інтегрований в центральний процесор системи S7-300. Це інтерфейс фірми Siemens, швидкість обміну 187,5 Kbit/s, метод доступу - "Token passing".

Фізично цей інтерфейс організований як стандартний RS 485 інтерфейс, лінія зв'язку - двопровідний екранований кабель (звита пара із двох мідних проводів).

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До цієї мережі може підключатись програматор для налагодження або зміни технологічної програми.

PROFIBUS - це найбільш могутня мережа польового рівня, що може бути використана для більшості практичних застосувань. Ця мережа відповідає вимогам міжнародних стандартів IEC 61158 і EN 50170.

PROFIBUS поєднує технологічні а також деякі функціональні характеристики польового рівня⁴. Вимоги користувачів до одержання відкритої, незалежної від виробника системи зв'язку, базується на використанні стандартних протоколів передачі PROFIBUS.

Протоколи передачі даних:

- PROFIBUS-FMS: Універсальне рішення для комунікаційних задач по обміні даними між інтелектуальними мережними пристроями на польовому рівні.

- PROFIBUS-DP: Протокол, що забезпечує швидкісний обмін даними між системами автоматизації і периферійних пристроїв польового рівня. Протокол у загальному характеризується за допомогою мінімального часу реакції та високої стійкості до можливого впливу зовнішніх електромагнітних полів.

- PROFIBUS-PA: призначений для організації зв'язку з устаткуванням, розташованим у пожежо- і вибухонебезпечних зонах. Мережа будується відповідно до вимог міжнародного стандарту IEC 61158-2.

Канали зв'язку:

- Електричні: виконуються екранованою витою парою. Для прокладки ліній зв'язку можуть використовуватися різні кабелі для різних умов експлуатації. Більшість з цих кабелів підтримує технологію швидкого з'єднання (Fast Connect).

- Оптичні: можуть виконуватися скляними або пластиковими оптоволоконними кабелями, призначеними для різних умов експлуатації.

- Інфрачервоні: застосування модуля ILM дозволяє здійснювати передачу інформації по інфрачервоних каналах на відстань до 15м.

- Комбіновані.

Step 7 - пакет програмного забезпечення, призначений для конфігурації,

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

визначення комунікацій, програмування, тестування і обслуговування, документації і архівування створюваних проектів для програмованих логічних контролерів SIMATIC S7, M7, C7. Даний пакет є частиною стандартних інструментальних засобів, він може бути доповнений інжиніринговими пакетами, які полегшують користувачу роботу над складними проектами.

Step 7 - пакет базового програмного забезпечення для SIMATIC S7, SIMATIC M7 і SIMATIC C7 програмованих контролерів. Step 7 має дружній інтерфейс для всіх фаз проектування системи автоматизації. Step 7 також вирішує багато задач, які до цього повинні були виконуватись "вручну". Step7 (як Step 5) являється частиною стандартного програмного забезпечення, встановленого на програматори PG 720/720C, PG 740 і PG 760. Він також доступний як пакет програм для PC (Windows 9x/NT/2000/XP), при цьому необхідна плата CP5611 або адаптер для PC.

Висновки. Для створення програми користувача Step 7 пропонує редактор програм, який містить в собі наступні мови програмування, що відповідають стандарту DIN EN 6.1131-3:

- Statement List STL (A WL) (Список інструкцій).
- Ladder Diagram LAD (KOP) (Релейно-контактна логіка).
- Function Block Diagram FBD (FUP) (Мова функціональних блоків).

Для спеціальних задач можуть використовуватись додаткові мови програмування, орієнтовані на технологію конфігурації CFC, Graf, Hi-Graf.

Step 7 містить всі програми користувача і всі дані в блоках. Можливість виклику в середині одного блоку других блоків, так ніби-то вони були підпрограмами, дозволяє створювати структуровані програми користувача. Це значно підвищує організаційну ясність, доступність і легкість супроводження програми PLC.

Існують наступні типи блоків:

- Організаційні блоки (OB) - для керування виконанням програми.
- Функціональних блоки (FB) - містять програму користувача.
- Функції (FC) - містять процедури, які часто використовуються.

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Блоки даних (DB) - області зберігання даних користувача.

- Зв'язані (інстанційні) блоки даних (DI) - коли викликається FB або системний FB (SFB), зв'язаний блок даних (DI) присвоюється FB. Вони автоматично генеруються при компіляції.

- Системні функціональних блоки (SFB), системні функції (SFC) - блоки, інтегровані в операційну систему CPU.

- Системні блоки даних (SDB) - блоки для зберігання конфігурації модулів.

Step 7 має основний набір команд, подібний на Step 5. Це дає можливість легко і швидко запрограмувати складні функції:

- двійкова логіка (включаючи визначення фронту), операції зсуву, операції зі словами;

- таймери/лічильники; операції порівняння, перетворення;

- математичні функції (включаючи тригонометричні, степеневі, логарифмічні);

- керування програмою (дужки, переходи, виклики).

Для кожного контролера створюється програма (Station).

До складу технологічної програми (програми користувача) входять наступні логічні блоки:

- Організаційні блоки:

- OB1 – блок, який є основним та призначений для організації програмного циклу.

- Функційні блоки:

- FBI ("Data_Scan_Block") - перетворення сигналів датчиків в фізичні величини.

- FB2 ("Alarm") - блок обробки стану бітів сигналізації.

- FB3 ("PIDcontrol") - ПІД-регулювання.

- FB4 ("Discret_Control") - керування цифровими виходами.

- FB41 ("CONT_C") - ПІД-регулятор (Continuous Control).

- Функції:

					БР.АКПЗ-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- FC1 ("13bit_Word_2_Real") -- перетворення значень DB4 в фізичні величини.

- Блоки даних:

- DB1 ("DB1") - блок для зберігання коефіцієнтів калібрування (K_0 , K_T в відносних одиницях).

- DB2 ("DB_Alarm") - дані сигналізації.

- DB4 ("DB4") - блок даних для вхідних і вихідних дискретних сигналів.

ПІД-регулювання (регулювання по пропорційно-інтегрально-диференційному закону) проводиться за допомогою програмного пакета "Standard Controller", до складу якого входять наступні стандартні функційні блоки (FB):

- "PШ_C" - безперервний ПІД-регулятор (з аналоговим виходом).

- "PID_S" - кроковий ПІД-регулятор.

- "PULSEGEN" - широтно-імпульсний модулятор, разом з блоком "PID_C" використовується для створення імпульсних регуляторів.

Ці ж функційні блоки (в спрощеному вигляді) входять до складу програмного пакета Step 7 (бібліотека "PID Control Blocks").

Стандартні функційні блоки складаються з окремих підпрограм (субфункцій):

- оброблення вхідного параметра;

- формування завдання регулятора;

- обчислення розузгодження (сигнал помилки);

- ПІД-алгоритм;

- ручне керування вихідним сигналом;

- інші.

При створенні конкретного регулятора використовується стандартний FB блок (наприклад, CONT_C) і "свій" блок даних DB (інстанційний), в який заносяться параметри конкретного регулятора, а також результати оброблення.

Використовуючи так звані структурні перемикачі, можна активізувати або деактивізувати окремі субфункції або цілі підпрограми. Це можна робити з

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою редактора DB, який знаходиться в пакеті Step 7, але набагато зручніше параметрувати окремі регулятори з допомогою спеціального окремого пакета "Configuration Tool". Це особливо актуально при кількості контурів регулювання 4 і більше. З допомогою цього пакета проводиться також налагоджування оптимальних коефіцієнтів регулятора.

В зв'язку з тим, що в модулях CPU використаний процесор з високою обчислювальною потужністю, жодних обмежень щодо типів технологічних процесів немає. Регулюватись можуть як повільні процеси (температура, рівень), так і швидкі (тиск, витрата).

На базі стандартних FB блоків можуть створюватись такі типи регуляторів:

- регулятори з фіксованим завданням (стабілізація параметра) з П-, ПІ-, ПД-, ПІД-законом регулювання з аналоговим виходом;
- регулятори з фіксованим завданням (стабілізація параметра) з П-, ПІ-, ПД-, ПІД-законом регулювання з імпульсним виходом;
- стабілізатор параметра з попередньою компенсацією (Feed forward, вхід DIST);
- каскадний регулятор (CONT_S використовується тільки у вторинному контурі);
- регулятор співвідношення (два контури);
- регулятор змішування.

З допомогою операції конфігурування можна досягти:

- обмеження швидкості зміни як входу, так і виходу (для аналогового регулятора);
- обмеження абсолютного значення як входу, так і виходу (для аналогового регулятора);
- подавлення шумів по каналах параметра і завдання з допомогою фільтрації сигналу помилки;
- подавлення високочастотної генерації в каналі параметра з допомогою часової затримки;

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- лінеаризація квадратичної функції (витрата з давачами перепаду тиску);
- можливості підключення власних функцій споживача в каналах вхідного параметра, завдання і виходу;
- ручного режиму (керування вихідним сигналом з програматора або з операторської станції ОС);
- встановлення двох верхніх і двох нижніх уставок для вхідного параметра і для сигналу помилки;
- можливості включення (або виключення) П- і Д- складових в коло зворотнього зв'язку регулятора.

В блоці даних можуть зберігатись різні типи даних, з яких в даній програмі використовуються:

- Bit.
- Byte; Integer.
- Real.

При цьому адресація проводиться наступним чином:

- Bit - DB4.DBX20.1:
- 4 - номер DB (1-127);
- 20 - номер байта (0-8196);
- 1 - номер біта (0-7).

До основних технологічних параметрів контролю і регулюванню блока як було зазначено в п. 1 доної роботи відносяться: температура, тиск, витрата і рівень.

В каналі вимірювання температури використовуємо термопари типу ТХК(L) в і термопари опору типу ТСМ 50М (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 - Термометр опору ТСМ 50М

Коротка характеристика яких наступна:

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

- діапазон вимірювання температури - $-50-600^{\circ}\text{C}$, $-50-300^{\circ}\text{C}$, $0-50^{\circ}\text{C}$;
- частота відліку 100 р/с;
- точність відрахування - 1°C ;
- робоча температура $+5^{\circ}\text{C} \div 50^{\circ}\text{C}$.

В каналі вимірювання тиску використовуємо перетворювач вимірювальний типу МТМ 700ДИ (рис. 4.3) призначений для неперервного вимірювання надлишкового тиску, різн газоподібних і рідких середовищ, що не кристалізуються на агресивні і не агресивні середовища, в уніфікований сигнал постійного струмі. Діапазони вимірювання: 0,0-1,0; 0-1,6; 0-2,5; клас точності - 0,25.



Рисунок 4.3 - Перетворювач МТМ 700ДИ

В каналі вимірювання витрати використовуємо перетворювачі тиску типу МТМ 701.311.ДД (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 - Перетворювач МТМ 701.311.ДД

Перетворювачі призначені для безперервного перетворення різниці тиску у

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

вихідний електричний сигнал постійного струму (0-5; 0-20; 4-20 мА). Контрольоване середовище: повітря, гази, пара, рідини, що не кристалізуються, як для агресивних так і неагресивних середовищ. Клас точності 0,25-0,5 в залежності від діапазону вимірювання. Діапазони вимірювання: 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 63 МПа.

В каналі вимірювання рівня використовуємо перетворювач вимірювальний МТМ.701.10-ДУ. Клас точності $\pm 0,5\%$.

Електропневматичний перетворювач МТМ 810 (рис. 4.5) призначений для перетворення уніфікованого електричного сигналу в уніфікований пневматичний сигнал. Основна функція - керування різними пневматичними виконавчими механізмами. Включається 30 двох і трьох провідною схемою. Границі основної похибки, приведеної до діапазона зміни вихідного сигналу $\pm 0,5\%$. Залежність вихідного сигналу від вхідного - лінійна.



Рисунок 4.5 - Перетворювач МТМ 810

В якості вторинного вимірювального приладу використаний в регістратор багатоканальний технологічний РМТ-69 (рис. 4.6).



Рисунок 4.6 - Регістратор РМТ-69

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Цей прилад призначений для вимірювання, реєстрації ікон троля технологічних параметрів, перетворених в електричні сигнали сили напруги постійного струму, або активного опору. Він являється екранним реєстратором, на кольоровому моніторі якого відображаються результати вимірювань у вигляді чисел, таблиць, графіків, гістограм, має гальванічну розв'язку. Здійснює функцію вимірювання і сигналізації до 6 параметрів.

4.3 Розробка функціональної схеми автоматизації

Основним технічним документом являється функціональна схема технологічних процесів. Дана схема визначає характер та структуру систем автоматизації. Описує необхідне обладнання, прилади та засобами автоматизації.

На функціональних схемах повинні враховуватися:

- завдання контролю у технологічному процесі;
- завдання управління у технологічному процесі;
- організація пунктів контролю та управління;
- взаємодія між меншими системами.

Функціональна схема повинна містити:

- технологічну схему зі спрощеним відображенням апаратів, котрі необхідно автоматизувати;
- прилади, а також технічні засоби автоматизації котрі мають бути представлені за допомогою умовних позначень та необхідні між ними лінії зв'язку;
- таблиці умовних позначень;
- різноманітні пояснення до схеми.

Існують спрощені та розгорнуті функціональні схеми. Дані схеми виконують на одному графічному листі.

Такі допоміжні пристрої як - редуктори, повітряні фільтри, джерелі живлення, вимикачі, реле, автомати, з'єднувальні коробки а також інші пристрої монтажні елементи на функціональній схемі не відображаються.

На спрощеній схемі не відображається організація пунктів контролю а також

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

управління об'єктом. На розгорнутій схемі відображають: перетворювачі, вторинні прилади, відбірні пристрої, давачі, регулюючі а також запірні органи, виконавчі механізми, апаратуру управління а також сигналізації.

Позиційне позначення присвоюється усім приладам а також засобам автоматизації. Таке позначення виконується за допомогою арабських цифр, а номер функціональної групи за допомогою букв українського алфавіту. Зазвичай комунікації та обладнання виконують спрощено.

Регулюючу запірну апаратуру на трубопроводах показують тільки ту, яка приймає безпосередню участь у процесі.

Зробимо короткий опис функціональної схеми. Дана система автоматичного управління спроектована з застосуванням інтерфейсу Profibus, дані по якому потупають на програмний логічний контролер Simatic S7-300, який опрацьовує занесену в нього програму керування і регулювання, також контролер передає дані на персональний комп'ютер встановлений не у виробничій зоні.

Роботу контурів регулювання можна описати схемою:

- Давач - шина даних - контролер - шина аналогових сигналів - виконавчі механізми (регулюючі клапани, насоси).

- Робота контурів контролю описуємо таким чином: давач - перетворювач - вторинний прилад.

ФСА приведена в графічній частині роботи.

4.4 Проектування схеми зовнішніх з'єднань

Комбінована схема, що містить електричні та трубні зв'язки між приладами і засобами автоматизації, називається схемою з'єднань зовнішніх проводок.

Схеми з'єднань та підключення зовнішніх проводок розробляють на основі таких вихідних матеріалів:

- робочої документації на прилади і засоби автоматизації, застосованих в проекті;

- технологічних схем автоматизації;

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

- таблиць з'єднань а також підключень проводок а також щитів та пультів, виконують у відповідності з РМ4-107-77.

Схеми з'єднань і підключень виконують довільно без масштабу на листах формату не більше А1.

Дійсне просторове розміщення пристроїв а також елементів може не враховуватись.

У загальному випадку усі схеми мають мати: щити, пульти, первинні прилади, штативи, групові установки, позащитові прилади, зовнішні електричні а також трубні проводки.

Для приладів поза щитами, які не мають нумерації електричних зовнішніх виводів, а також для датчиків із пневматичною системою дистанційної передачі застосовують умовні позначення, встановлені для відповідних типів приладів.

Технічну характеристику приводять для кожної зовнішньої проводки:

- для кабелів вказують марку, кількість жил а також їхнє січення. За необхідності зазначають кількість підєднаних жил, котрі зазначаються у прямокутнику. Такий прямокутник розмішують справа від розташування позначення даних кабеля.

- для проводок вказують марку, січення, а за необхідності колір та довжину.

- для металорукава зазначають діаметр, тип а також його довжину.

- для труби вказують товщину стінки, діаметр а також довжину довжину.

У даній роботі розроблено схему зовнішніх з'єднань для задіяних приладів. Приведено опис окремих контурів для контрольованих величин.

Усі термоперетворювачі типу ТХК підключаються до вторинних приладів, розташованих на щиті, за допомогою компенсаційних проводів типу ПВ2. Первинні перетворювачі, що встановлені в місцевій шафі, з'єднуються з вторинними приладами через кабель КВВГ нг 7×1.0.

Точки відбору тиску та рівня (вимірювання гідростатичного тиску стовпа рідини) під'єднуються до відповідних первинних перетворювачів, розміщених у місцевих шафах, із застосуванням сталевих безшовних труб Тр.ст Ду 20 мм:

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- датчики витрати, встановлені по місцю, з'єднуються з вторинними приладами, що розташовані на щиті в операторній, за допомогою кабелю КВВГ нг 7×1.0;

- від первинних перетворювачів рівня та тиску вимірювальний сигнал передається кабелем КВВГ нг 7×1.0.

Пости керування, розміщені на місці, підключаються до щита в операторській також через кабель КВВГ нг 7×1.0.

На схемі зовнішніх з'єднань зазначається довжина всіх кабелів і труб, а їхня загальна довжина наводиться у таблиці над основним надписом.

4.5 Розробка принципової електричної схеми керування і сигналізації

Принципові електричні схеми описують усі прилади та зв'язки між ними. Ці схеми також використовують для вивчення принципу дії системи. Зазначені схеми потрібні у процесі виконання налагоджувальних робіт, а також у експлуатації.

Незважаючи на різноманітність принципових електричних схем у різних системах автоматизації, будь-яка з них, незалежно від складності, є певним чином структурованим поєднанням окремих функціональних вузлів, які у визначеній послідовності виконують стандартні операції. До елементарних кіл також можна віднести типові схеми включення вимірювальних приладів різноманітного призначення.

Принципова електрична схема керування і сигналізації зібрана на релейній елементній базі. Схема складається з трьох частин. Перша виконує функції сигналізації досягнення технологічних параметрів граничних значень. Інші дві використовуються для позиційного керування електроприводами насосів Н-2 і Н-3, Н-4 і Н-5.

Розглянемо детальніше роботу схеми технологічної сигналізації. Вона складається з центрального реле К1 і 8-ми однакових паралельних контурів, кожен з яких забезпечує спрацювання звукової і відповідної світлової сигналізації при досягненні одного з технологічних параметрів граничного значення.

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Подача живлення на схему виконується ввімкненням автоматичного вимикача SF1. Контроль напруги в схемі сигналізації виконується з допомогою світлового табло HL1. Кнопка SB2 призначена для перевірки справності звукової і світлової сигналізації. При її натисканні оператором напруга через нормально замкнуті контакти проміжних реле K2 - K9 подається на сигнальні лампи (світлові табло) HL2 - HL9. Крім того подається напруга на реле K1, яке спрацьовує, і своїм нормально розімкнутим контактом замикає коло живлення електричного дзвінка. Іншим своїм контактом воно через нормально замкнуту кнопку SB1 самоблокується. При відпусканні кнопки SB2 реле K1 лишиться під напругою, і дзвінок НА продовжуватиме дзвонити. Скид звукової сигналізації виконується натисканням оператором кнопки SB1, що розблокує реле K1, яке розімкне свій контакт в колі живлення дзвінка.

Роботу схеми розглянемо при спрацюванні сигналізації максимальної температури газосировинної суміші, що подається в P1. При спрацюванні контакту PT1, через нормально замкнутий контакт реле K2 подається напруга на реле K1, яке спрацьовує, своїм контактом через кнопку SB1 самоблокується і вмикає дзвінок НА. Крім того реле K1 замикає свій контакт у колі живлення обмотки реле K2. В перший момент часу струм буде проходити по колу: фаза А - автоматичний вимикач SF1 - контакт PT1 - обмотка реле K2 - діод VD2 - контакт реле K1 - нейтраль N. За рахунок цього реле K2 спрацьовує, розмикає свій контакт у колі живлення реле K1 (воно залишається надалі під напругою до зняття оператором звукової сигналізації, так як є заблокованим власним контактом). Крім того, реле K2 замикає ще один свій контакт, під'єднуючи один з виводів власної обмотки до нейтралі N напряму в обхід діода VD2 і контакту реле K1. Своім перемикаючим контактом реле K2 подає напругу на світлове табло HL2.

Для зняття звукової сигналізації оператор повинен натиснути кнопку SB1. Світлове табло HL2 буде світитись до тих пір, поки контакт PF1 не розімкнеться. Якщо він розімкнувся, реле K2 обезструмлюється, і розмикає свій контакт у колі живлення світлового табло HL2.

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Робота схеми при спрацюванні інших сигналізуючих контактів є аналогічною.

Розглянемо детальніше роботу схеми керування двигунами насосів Н-2,3. Подача напруги живлення обмотки статора електродвигуна насосу Н-2 виконується через рубильник QS1, автоматичний трифазний вимикач QF1, контакти трифазного магнітного пускача KM1 і обмотки двохфазного теплового реле КК1, КК2. Силкові кола решти електродвигунів є аналогічними.

Подача напруги в схему керування двигунами насосів Н-2,3 виконується ввімкненням рубильника QS1 і автоматичного вимикача SF2. Контроль напруги в схемі керування виконується з допомогою світлового табло HL10.

Дана схема керування передбачає можливість керування електродвигунами насосів в ручному режимі по місцю з використанням місцевих постів керування і дистанційно з операторської, а також автоматичне керування двигунами з вводом резерву і можливістю вибору основного і резервного насосу. Вибір режиму роботи здійснюється за допомогою перемикача SA1, який має такі положення:

1. (-90°) - перший насос робочий, другий у резерві;
2. (-45°) - місцеве керування насосами;
3. виключено;
4. (+45°) - дистанційне керування насосами;
5. (+90°) - перший насос у резерві, другий - робочий.

Нехай перемикач SA1 знаходиться у положенні -90°. При спрацюванні контакту PL1 в схемі сигналізації (максимальний рівень в сепараторі С9) спрацьовує реле К7, яке окрім кіл сигналізації, замкне свій контакт у колі керування. Напруга через замкнений контакт реле К7, нормально замкнений контакт реле К14 і перемикач SA1 буде подана на обмотку реле К10.

Контакт реле К10 замикається і отримує живлення котушка контактора KM1 першого робочого насосу, який замикає силкові контакти KM1 і вмикається електродвигун М1. Магнітний пускач KM1 своїм власним контактом через нормально замкнутий контакт реле К15 самоблокується. Крім цього, магнітний

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пускач КМ1 замкне свій контакт у колі живлення обмотки реле К12, яке розімкне коло живлення реле часу КТ1. Також загориться світлове табло НL11, що сигналізує включення насосу Н-2.

Якщо з будь-яких причин запуск двигуна насоса Н-2 не відбувся, обмотка реле часу КТ1 залишається під напругою. Через заданий інтервал часу воно спрацьовує та замикає свій контакт у колі живлення обмотки реле К14. При цьому загоряється світлове табло НL13, що сигналізує про аварійний стан — відсутність запуску двигуна основного насоса. Реле К14 розмикає свій контакт у колі живлення обмотки реле К10 (пуск основного насоса) та одночасно замикає контакт у колі живлення реле К11 (пуск резервного насоса). У свою чергу реле К11 замикає свій контакт у колі живлення магнітного пускача КМ2, забезпечуючи автоматичне перемикавання на роботу резервного насоса в аварійному режимі.

Якщо насос відкачає технологічну рідину і її рівень знизиться нижче максимального (далі розглядаємо випадок, коли пуск основного насосу відбувся), контакт РL1 в схемі сигналізації розімкнеться, реле К7 і К10 обезструмляться, але двигун насосу буде працювати далі, так як магнітний пускач КМ1 залишається заблокованим.

Коли тиск паливного газу знизиться до нижнього рівня, замкнеться контакт РL1 в схемі сигналізації, спрацьовує реле К6, яке окрім кіл сигналізації, замкне свій контакт у колі керування. Напруга через замкнений контакт реле К6, буде подана на обмотку реле К15. Реле К15 розімкне свій контакт у колі живлення обмотки магнітного пускача КМ1, який розблокується і зупинить насос Н-2.

Схема керування буде працювати аналогічно, коли перемикач SA1 буде знаходитись у положенні $+90^\circ$, при цьому основним буде насос Н-3, а резервним - Н-2.

Для місцевого керування двигунами насосів Н-2, Н-3 використовують пости керування SB4 і SB6 відповідно (перемикач SA1 в положенні -45°), а для дистанційного - пости керування SB3 і SB5 (перемикач SA1 в положенні $+45^\circ$).

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу

Здійснено вибір а також ґрунтовне обґрунтування вибору засобів автоматизації, котрі потрібні для ефективної експлуатації об'єкту.

Спроектowana функціональна схема автоматизації, схеми зовнішніх з'єднань, а також принципові електричні схеми технічної сигналізації і приводів продуктових насосів.

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі розглянуто призначення установки та сутність процесу каталітичного риформінгу, а також наведено характеристику сировини і продуктів блоку риформінгу. Виконано опис технологічної схеми процесу та подано технічні характеристики основного технологічного обладнання: печей, реакторів, сепараторів, холодильників і теплообмінників. Крім того, здійснено вибір і детальне обґрунтування необхідних параметрів контролю та регулювання.

Здійснений огляд існуючих технологій регулювання теплообмінними апаратами. Також здійснено математичний опис об'єкта керування. Обраховані параметри регуляторів та проведені дослідження системи з вказаними алгоритмами керування. Досліджено показники якості розроблених систем.

Були спроектовані функціональна схема автоматизації, схеми зовнішніх з'єднань, а також принципові електричні схеми технічної сигналізації і приводів продуктових насосів.

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Когутяк, М. І. Автоматизація технологічних процесів [Текст] : лабораторний практикум. Ч. 1 / М. І. Когутяк. – 2-е вид. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2015. – 62 с.

2. Горбійчук, М. І. Числові методи і моделювання на ЕОМ [Текст] : методичні вказівки для самостійної роботи студентів. Практичні заняття (дистанційна форма навчання) / М. І. Горбійчук, Я. І. Заячук. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2016. – 94 с.

3. Когутяк, М. І. Виконавчі пристрої систем керування в нафтогазовій промисловості [Текст] : навч. посіб. / М. І. Когутяк. – Івано-Франківськ : Факел, 2015. – 228 с.

4. Горбійчук, М. І. Теорія автоматичного керування. Нелінійні системи [Текст] : лаб. практикум / М. І. Горбійчук, Л. Я. Чигур. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2024. – 84 с.

5. Когутяк, М. І. Сучасні комп'ютерні технології в автоматизації [Текст] : навч. посіб. Ч. 1 : Автоматизовані системи керування технологічними процесами нафтогазової галузі / М. І. Когутяк. – Івано-Франківськ : Факел, 2015. – 278 с.

6. Горбійчук, М. І. Оптимальне та адаптивне керування в нафтогазовій промисловості [Текст] : лаб. практикум / М. І. Горбійчук, Л. Я. Чигур. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2023. – 45 с.

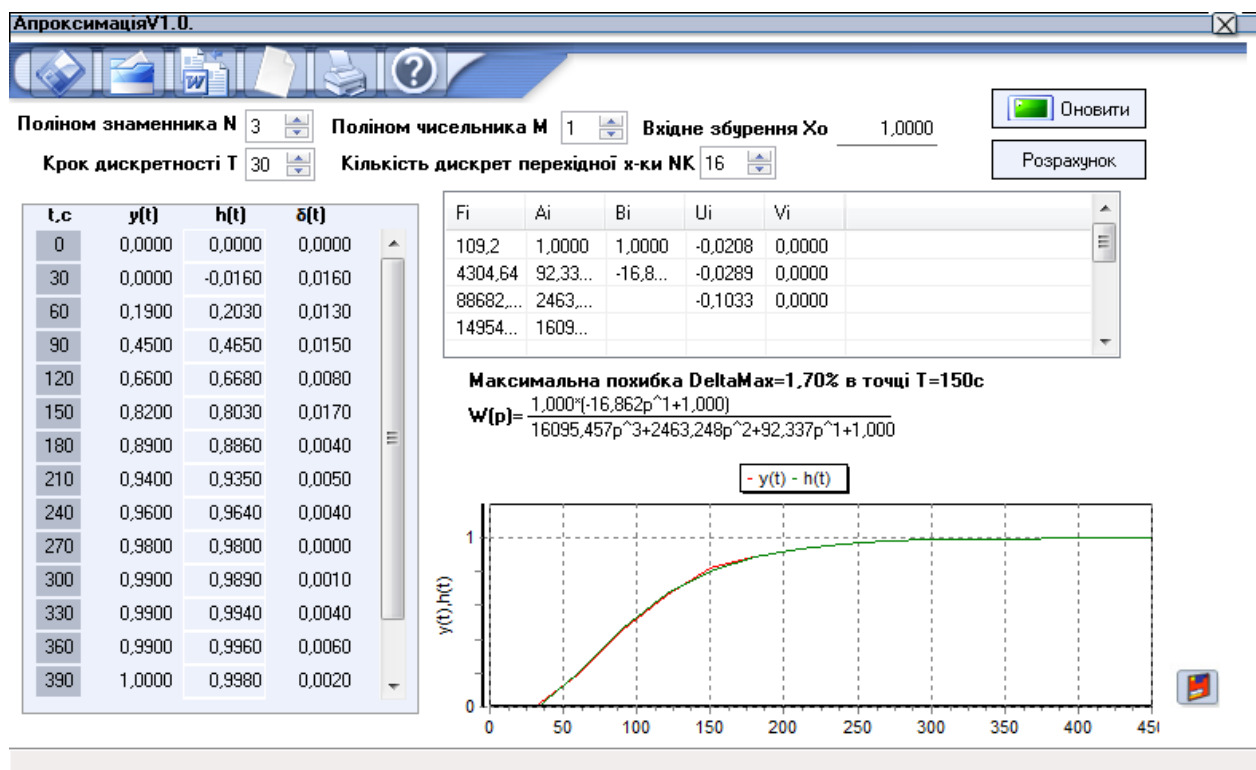
7. Семенцов Г. Н., Когуч Я. Р., Дранчук М. М. Автоматизація технологічних процесів та виробництв в нафтовій та газовій промисловості: Навчальний посібник. - Івано-Франківськ: Факел, 2003.

8. Чигур, Л. Я. Теорія автоматичного керування. Цифрові системи. [Текст] : лаборатор. практикум / Л. Я. Чигур, М. І. Горбійчук. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2024. – 80 с.

					БР.АКПз-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

Додаток А1



Додаток А2

АпроксимаціяУТ.0
✕

Поліном знаменника N

Крок дискретності T

Поліном чисельника M

Кількість дискрет перехідної x-ки NK

Вхідне збурення Xo

t, c	y(t)	h(t)	δ(t)
0	0,0000	0,0000	0,0000
30	0,3800	0,3920	0,0120
60	0,6200	0,6300	0,0100
90	0,7700	0,7750	0,0050
120	0,8800	0,8630	0,0170
150	0,9300	0,9170	0,0130
180	0,9600	0,9490	0,0110
210	0,9700	0,9690	0,0010
240	0,9800	0,9810	0,0010
270	0,9900	0,9880	0,0020
300	0,9900	0,9930	0,0030
330	0,9900	0,9950	0,0050
360	1,0000	0,9970	0,0030
390	1,0000	0,9980	0,0020

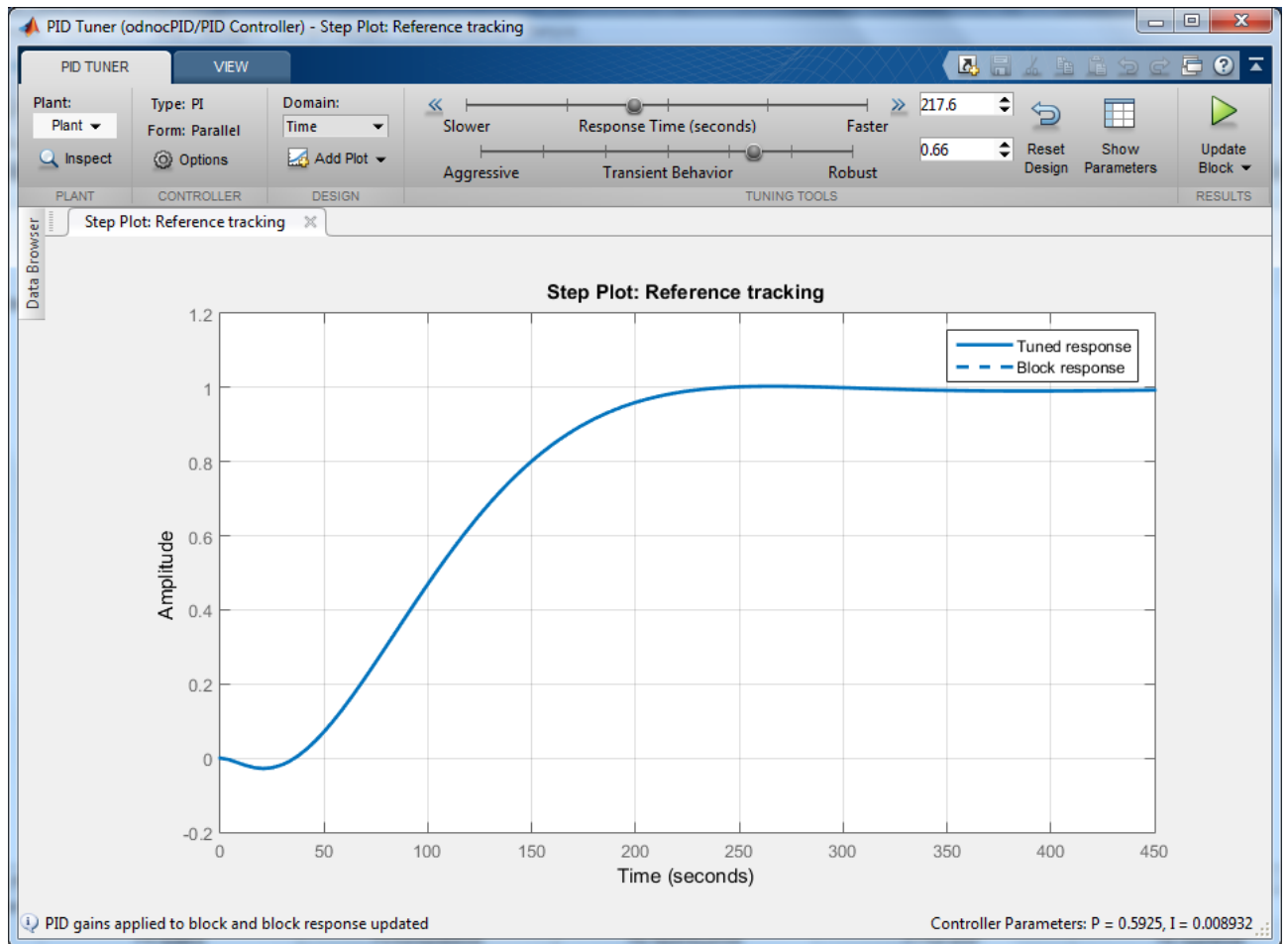
Fi	Ai	Bi	Ui	Vi
60,2	1,0000	1,0000	-0,0166	0,0000
	60,20...			

Максимальна похибка DeltaMax=1,70% в точці T=120c

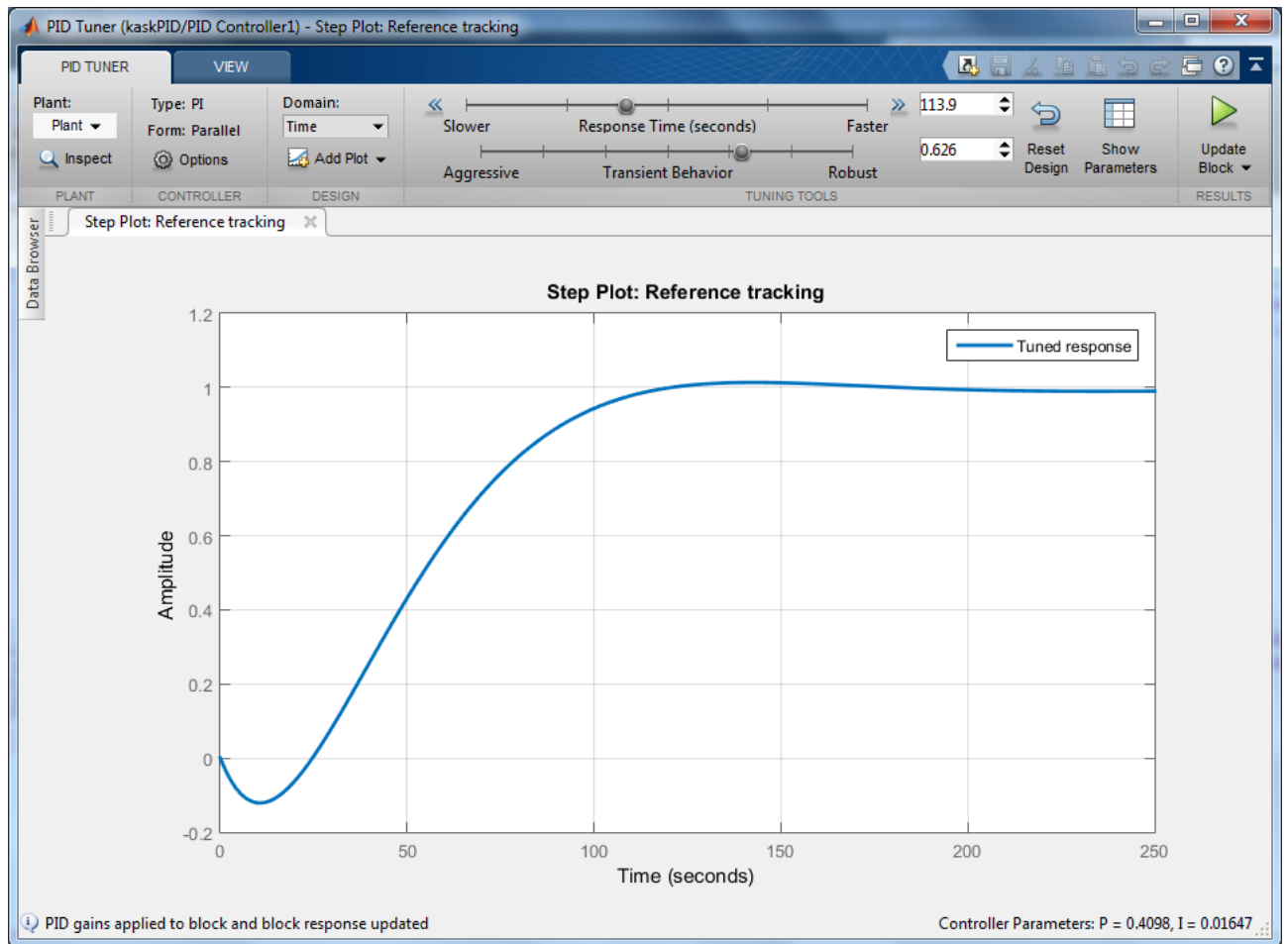
$W(p) = \frac{1}{60,200p^1 + 1,000}$

- y(t) - h(t)

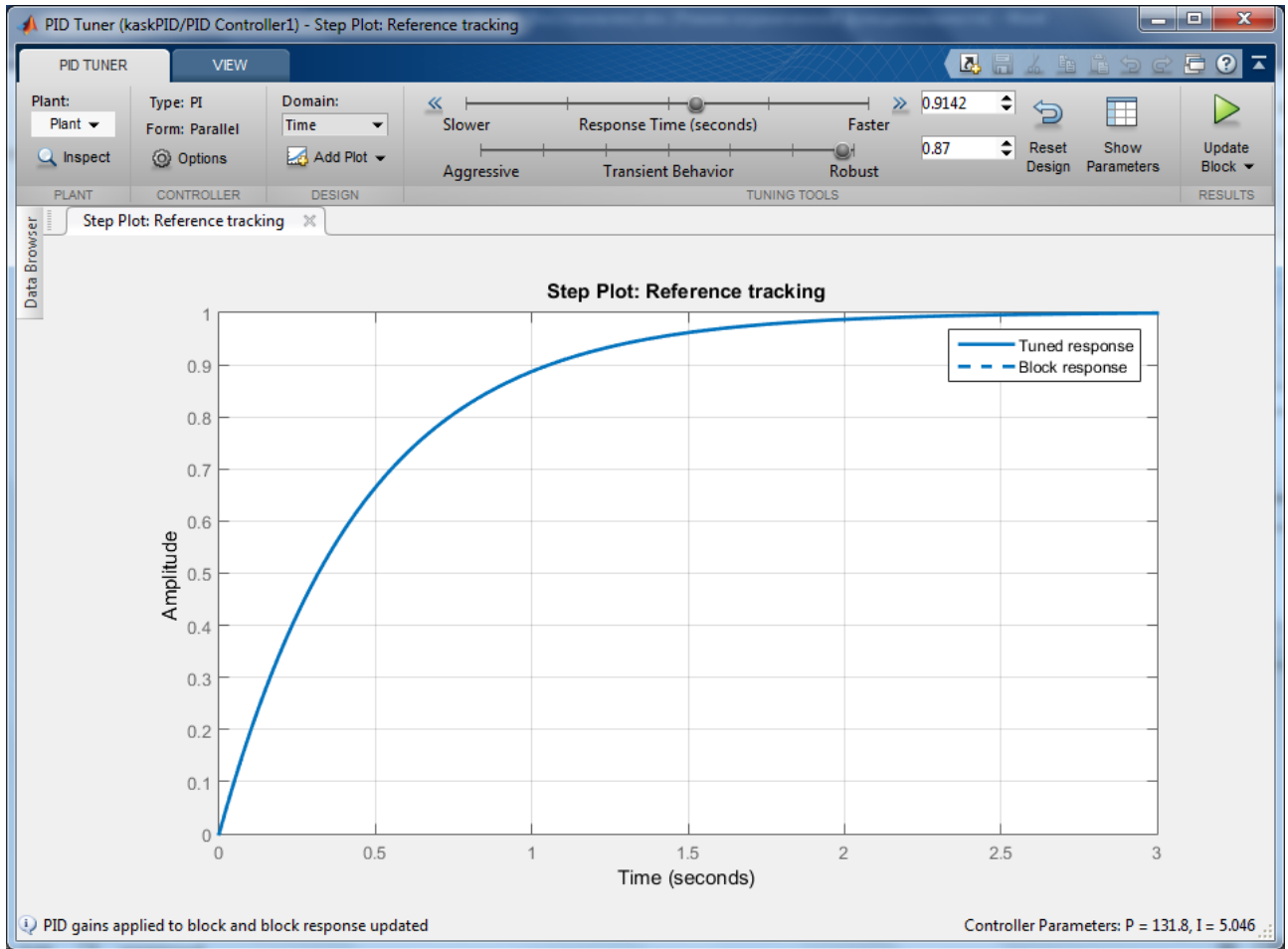
Додаток Б1



Додаток Б2



Додаток Б3

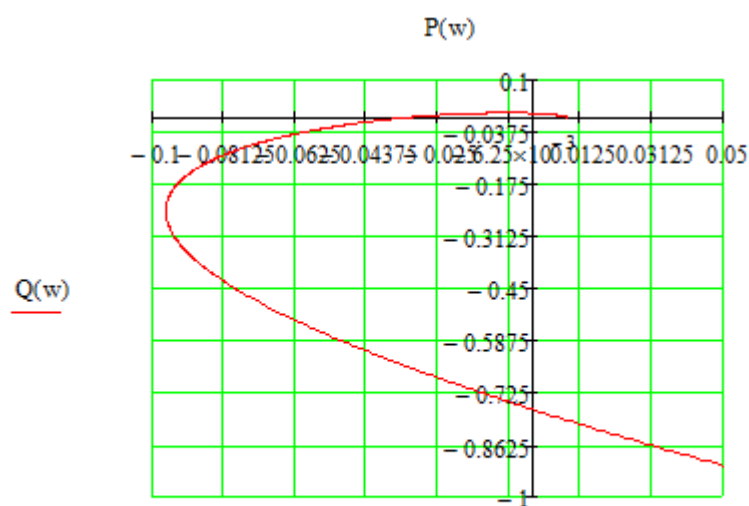
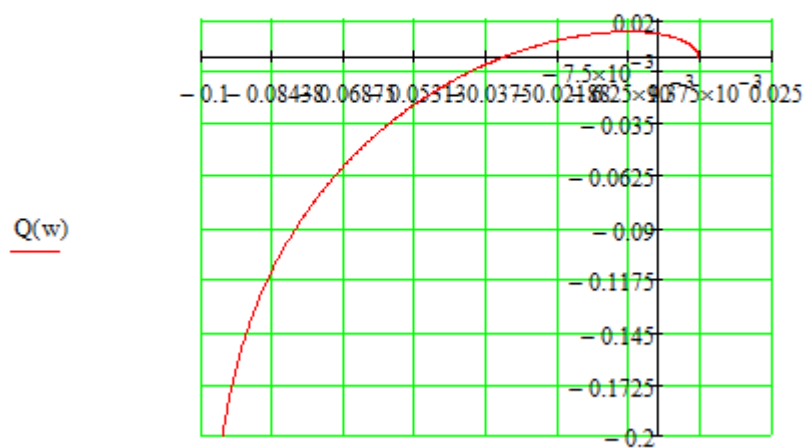


Додаток В1

$$P(w) := 16095.457w^4 - 82.346w^2 + 0.0089$$

$$Q(w) := -2463.248w^3 + 1.4425w$$

$$w := 0, 0.0001 \dots 30$$



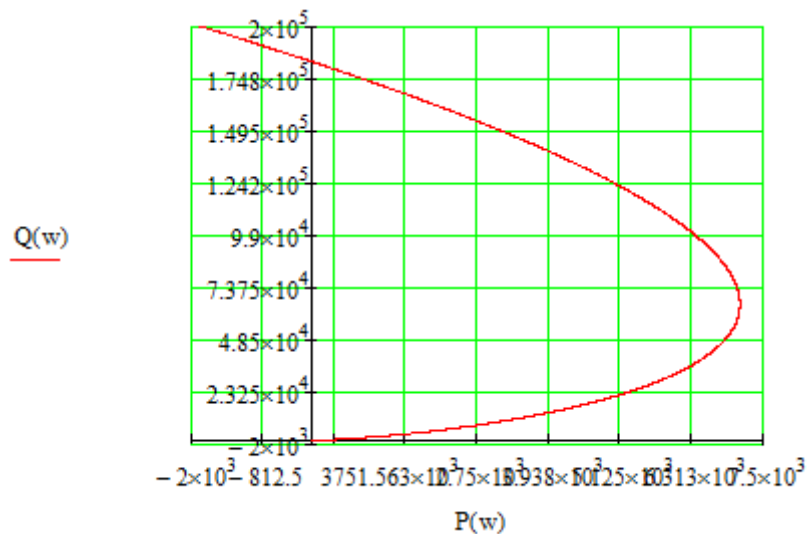
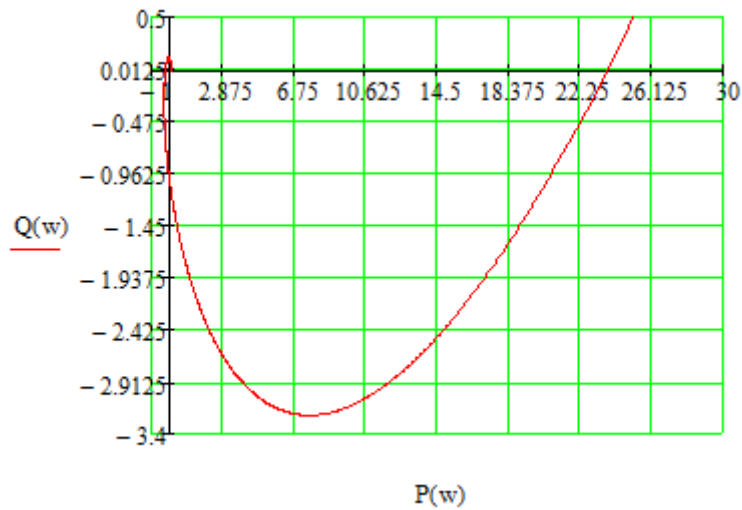
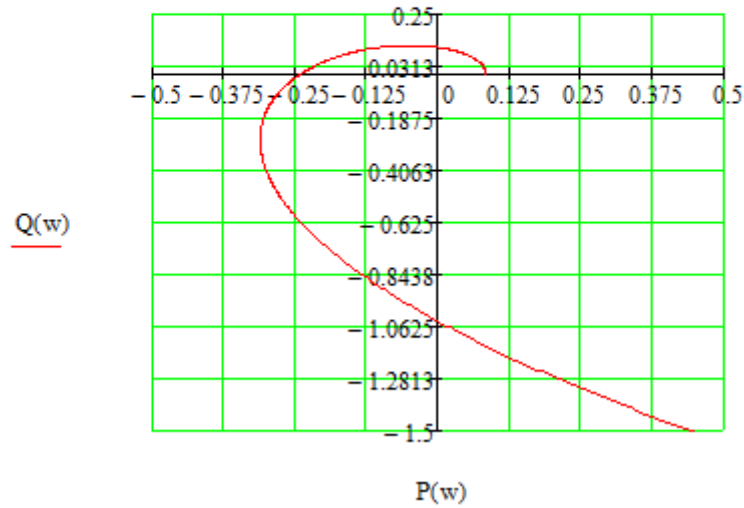
P(w)

Додаток В2

$$P(w) := -968946.5 \cdot w^6 + 359068.89 \cdot w^4 - 752.09 \cdot w^2 + 0.0833$$

$$Q(w) := 2285764.2w^5 - 22786.28 \cdot w^3 + 12.9 \cdot w$$

$$w := 0, 0.0001.. 30$$



БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема кваліфікаційної роботи: «Розроблення системи автоматизації реакторного блоку установки каталітичного риформінгу».

Обсяг пояснювальної записки: 72 аркуші.

Перелік креслень графічної частини:

1. Функціональна схема автоматизації.
2. Аналіз і синтез одноконтурної САК.
3. Аналіз і синтез каскадної САК.
4. Схема зовнішніх з'єднань.
5. Принципова електрична схема сигналізації.
6. Принципова електрична схема керування двигуна.
7. Принципова електрична схема щита живлення.

Дата закінчення проекту _____

Підпис студента-дипломника _____