

**БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ

Група АКПзд-23-2К

**Дмитро Бохняк**

**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

Бохняк Дмитро Петрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.5:665.63.034.3

(індекс)

## БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Удосконалення системи автоматизації установки двоступеневої

(назва роботи)

вакуумної перегонки мазуту

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

174 - «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

(шифр і назва спеціальності)

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

### Нормоконтроль

асистент

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

### Здобувач освітнього ступеня

АКПЗд-23-2К

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

Д.П. Бохняк

(ініціали та прізвище)

### Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

М.І. Когутяк

(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 174 - «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри АКІТ**

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

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

**Бохняк Дмитро Петрович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення системи автоматизації установки двоступеневої вакуумної перегонки мазуту

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

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025

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 вакуумної перегонки мазуту як об'єкта автоматичного контролю і керування. 2 Математичне моделювання і ідентифікація установки двоступеневої вакуумної перегонки мазуту. 3 Синтез структури системи автоматичного керування. 4 Розробка технічної документації на САК. Висновки. Перелік посилань на джерела.

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

Лист 1 - Функціональна схема автоматизації - БР.АКПзд-28.00.00.001;

Лист 2 - Експериментальне дослідження - БР.АКПзд-28.00.00.002;

Лист 3 - Аналіз і синтез одноконтурної САК - БР.АКПзд-28.00.00.003;

Лист 4 - Аналіз і синтез каскадної САК - БР.АКПзд-28.00.00.004;

Лист 5 - Схема зовнішніх з'єднань - БР.АКПзд-28.00.00.005;

Лист 6 - Схема щита керування - БР.АКПзд-28.00.00.006.

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 06.11.2024

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу вакуумної перегонки мазуту як об'єкта автоматичного контролю і керування	10.06.2025	
2	Математичне моделювання і ідентифікація установки двоступеневої вакуумної перегонки мазуту	11.06.2025	
3	Синтез структури системи автоматичного керування	12.06.2025	
4	Розробка технічної документації на САК	13.06.2025	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Д.П. Бохняк \_\_\_\_\_  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

А.І. Лагойда \_\_\_\_\_  
(ініціали та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота містить: 55 сторінок друкованого тексту, 14 рисунків, 7 таблиць, 11 переліків посилань на джерела та 3 додатки.

Тема: удосконалення системи автоматизації установки двоступеневої вакуумної перегонки мазуту.

Об'єкт дослідження: технологічний процес установки двоступеневої вакуумної перегонки мазуту.

Мета проекту: розробка системи керування технологічним процесом двоступеневої вакуумної перегонки мазуту.

Методи дослідження: моделювання в програмному продукті MATLAB автоматичної системи керування процесу нагріву сировини в трубчастій печі.

Результати роботи: в проекті розглянуто такі питання: здійснено аналіз процесу двоступеневої вакуумної перегонки мазуту на основі котрого обраховано оптимальні параметри налаштування регуляторів. Здійснено вибір технічних засобів автоматизації та розроблено функціональну схему автоматизації, схему зовнішніх з'єднань та схему щитів керування. Синтезується і аналізується каскадна і одноконтурна система керування. Моделювання перехідних процесів виконується в пакеті MatlabSimulink.

Ключові слова: автоматизована система керування, трубчаста піч, каскадна система, одноконтурна система, автоматичне керування, математична модель, моделювання, регулятор, регулювання.

## **ABSTRACT**

Bachelor's thesis contains: 55 pages of printed text, 14 figures, 7 tables, 11 lists of references to sources and 3 appendices.

Topic: improvement of the automation system of the two-stage vacuum distillation unit of fuel oil.

Object of research: technological process of the two-stage vacuum distillation unit of fuel oil.

Project goal: development of a control system for the technological process of two-stage vacuum distillation of fuel oil.

Research methods: modeling in the MATLAB software product of an automatic control system for the process of heating raw materials in a tubular furnace.

Results of work: the project considered the following issues: an analysis of the two-stage vacuum distillation process of fuel oil was carried out, on the basis of which the optimal parameters for setting the regulators were calculated. The selection of technical means of automation was carried out and a functional automation scheme, a diagram of external connections and a diagram of control panels were developed. A cascade and single-loop control system is synthesized and analyzed. Transient process modeling is performed in the MatlabSimulink package.

Keywords: automated control system, tube furnace, cascade system, single-loop system, automatic control, mathematical model, modeling, controller, regulation.

## ЗМІСТ

	<b>ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....</b>	<b>8</b>
	<b>ВСТУП.....</b>	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВАКУУМНОЇ ПЕРЕГОНКИ МАЗУТУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ.....</b>	<b>10</b>
	1.1 Призначення, суть і хімізм процесу.....	10
	1.2 Характеристика продукції, сировини і реагентів.....	11
	1.3 Технічна характеристика технологічного обладнання.....	13
	1.4 Опис технологічного процесу вакуумної перегонки мазуту.....	15
	1.5 Вибір і обґрунтування регульованих величин і каналів регулюючих впливів.....	17
	1.6 Вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу....	18
	Висновки до розділу.....	21
<b>2</b>	<b>МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ УСТАНОВКИ ДВОСТУПЕНЕВОЇ ВАКУУМНОЇ ПЕРЕГОНКИ МАЗУТУ.....</b>	<b>23</b>
	2.1 Вибір об'єкта керування та визначення його структурної схеми...	23
	2.2 Формування мети керування та вимог до системи керування, що проектується.....	23
	2.3 Експеримент по визначенню динамічних характеристик.....	24
	2.3.1 Обробка результатів основного каналу регулювання.....	26
	2.3.2 Обробка результатів експерименту по допоміжному каналу регулювання.....	29
	Висновки до розділу.....	31

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення системи автоматизації установки двоступеневої вакуумної перегонки мазуту	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Бохняк Д.П.				6	55	
Перевір.		Лагойда А.І.						
Реценз.		Когутяк М.І.				АКПзд-23-2К ІФНТУНГ		
Н. Контр.		Лагойда Л.І.						
Затверд.		Лагойда А.І.						



## ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АСУТП - автоматизована система управління технологічними процесами.

АСК - автоматизована система керування.

ЗА - засоби автоматизації.

САК - система автоматичного керування.

ПЛК - програмований логічний контролер.

ФСА - функціональна схема автоматизації.

ТЗА - технічні засоби автоматизації.

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

## ВСТУП

Автоматизована система управління - це сукупність керованого об'єкта й автоматичних керуючих пристроїв. У даній системі деяку частину функцій керування здійснює людина. Дана система являє собою організаційно-технічну систему, що забезпечує вироблення рішень на основі автоматизації інформаційних процесів у різних сферах діяльності (управління, проектування, виробництво тощо) або їх поєднаннях.

Управління усіма технологічними процесами можливе лише при наявності вимірної інформації про певні окремі параметри, які характеризують процес чи стан об'єкта. Параметри ці досить своєрідні. До них відносяться, механічні технологічні параметри, а також параметри, які характеризують деякі властивості та певний склад речовин. Вимірювання параметрів здійснюється за допомогою найрізноманітніших технічних засобів, що мають нормовані метрологічні властивості. Технологічні вимірювання і вимірювальні прилади використовуються при управлінні (ручному або автоматичному) багатьма технологічними процесами у найрізноманітніших галузях народного господарства. Засоби вимірювань відіграють важливу роль при побудові сучасних автоматичних систем регулювання окремих технологічних параметрів і процесів і особливо автоматизованих систем управління технологічними процесами, які вимагають подання великої кількості необхідної вимірювальної інформації у формі, зручній для збору, подальшого перетворення, обробки та представлення її, а в ряді випадків для дистанційної передачі у вище, або нижче стоять рівні ієрархічної структури управління різними виробництвами. В основі вимірів параметрів і фізичних величин лежать різні фізичні явища і закономірності. Вимірювальні схеми з використанням сучасних досягнень мікроелектронної техніки: мікропроцесорних схем, твердих або напівпровідникових електрохімічних елементів та інші.

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВАКУУМНОЇ ПЕРЕГОНКИ МАЗУТУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ

## 1.1 Призначення, суть і хімізм процесу

Основне призначення установки (блоку) вакуумної перегонки мазуту паливного профілю - отримання вакуумного газойлю широкого фракційного складу (350 - 500 °С), використовуюваного як сировина установок каталітичного крекінгу, гідрокрекінгу або піролізу і в деяких випадках - термічного крекінгу з отриманням дистильатного крекінг - залишку. Далі ця речовина направляється на коксування з метою отримання високоякісних нафтових коксів.

Про чіткість поділу мазуту зазвичай судять за фракційним складом і кольором вакуумного газойлю. Останній показник побічно характеризує зміст смолисто-асфальтенових речовин, тобто коксованість і вміст металів. Метали, особливо нікель і ванадій, роблять негативний вплив на активність, селективність і термін служби каталізаторів процесів гідрооблагороджування і каталітичної переробки газойлів. Тому при експлуатації промислових установок виключно важливо зменшити винесення рідини (гудрону) у концентраційну секцію вакуумної колони у вигляді бризок, піни, туману і т.д. У зв'язку з цим вакуумні колони по паливному варіанту мають при невеликому числі тарілок (або невисокому шарі насадки) розвинену живильну секцію: відбійники з сіток і промивні тарілки, де організується рециркуляція затемненого продукту. У процесах вакуумної перегонки, крім проблеми віднесення рідини посилена увага приділяється забезпеченню сприятливих умов для максимального відбору цільового продукту без помітного його розкладання. Багаторічним досвідом експлуатації промислових установок встановлено, що нагрівання мазуту в печі вище 420-425 °С викликає інтенсивне утворення газів розкладання, закоксованість і прогар труб печі, осмолення вакуумного газойлю. При цьому, чим важче нафта, тим більш інтенсивно йде газоутворення і термодеструкція високомолекулярних сполук сировини. Внаслідок цього при нагріванні мазуту до максимально допустимої температури зменшують

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

час його перебування у печі, влаштовуючи багатопотокові змійовики (до чотирьох), застосовують печі двостороннього опромінення. В змійовик печі подають водяну пару і зменшують довжину трансферного трубопроводу (між піччю і вакуумною колоною). Для зниження температури низу колони організують рецикл (квенчінг) частково охолодженого гудрону. З метою зниження тиску на ділянці випаровування печі кінцеві змійовики виконують із труб більшого діаметра і зменшують перепад висоти між введенням мазуту в колону і виходом його з печі. У вакуумній колоні застосовують обмежену кількість тарілок з низьким гідравлічним опором або насадку. Використовують вакуумстворючі системи, що забезпечують досить глибокий вакуум. Кількість тарілок у відгонній секції також повинно бути обмеженою, щоб забезпечити час перебування нагрітого гудрону. З цією метою одночасно зменшують діаметр куба колон.

У процесах вакуумної перегонки мазуту по паливному варіанту переважно використовують схему одноразового випаровування, застосовуючи одну складну ректифікаційну колону з виходом фракцій дистилятів через відтпарні колони або без них. При використанні відтпарних колон у них по висоті організують кілька циркуляційних зрошень.

## **1.2 Характеристика продукції, сировини і реагентів**

Для процесу піролізу сировиною являється мазут.

Мазут використовують в наземних і суднових парових установках і промислових печах різного призначення, а також в тихохідних поршневіх двигунах з запалюванням від стиснення. Виготовляють мазути з продуктів прямої перегонки нафти з залученням крекінг-залишків, екстрактів, гудронів, півгудронів, асфальтосмолисті речовини і інші важкі продукти переробки нафти.

Мазут поділяють на марки в залежності від складу: Ф-5 - флотський з умовною в'язкістю не більше 5 ° при 50 °С; Ф-12 - флотський з умовною в'язкістю не більше 12 ° при 50 °С; топковий 40 з умовною в'язкістю 8 ° при 80 °С; топковий 100 з умовною в'язкістю 16° при 80 °С.

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Мазут марок 40 і 100 поділяють на групи за вмістом сірки: малосірчисті з вмістом сірки до 0,5%; середньосірчисті - до 2%, високосірчисті - до 3,5%,

Крім цього виділяють мазути високопарафіністі з температурою застигання топкового 40 не вище 25 °С, топкового 100 не вище 42 °С.

Флотський мазут служить в основному в якості палива для тихохідних судових дизелів. В останні роки для цих цілей успішно використовують топковий мазут марки 40. Завдяки його меншій вартості знижуються експлуатаційні витрати.

Проміжне становище між мазутами і дизельним паливом займає паливо пічне побутове, яке призначене для побутових нагрівальних апаратів, різного технологічного устаткування. Це паливо містить понад 75% фракцій дизельного палива.

Продукцією є дизельне паливо (соляр) і дистиляти (циліндровий, автоловий і парафіновий).

Дизельне паливо використовується в двигунах із запалюванням від стиснення, а також в судових газових турбінах. Виготовляють його з продуктів прямої перегонки нафти, гідроочищення і депарафінізації, а також змішуванням продуктів, отриманих при використанні зазначених процесів, з легким газойлем каталітичного крекінгу.

Дизельне паливо повинно мати добра самозгоряння (легкий запуск і м'яка робота двигуна), яка визначається цетановим числом, оптимальним фракційним складом і в'язкістю (розпил та випаровуваність), хорошими низькотемпературними властивостями, не містити корозійно активних з'єднань, механічних домішок і води.

Основні фізико-хімічні характеристики дизельного палива наведені в таблиці 1.1.

За кордоном широке поширення набуло літнє дизельне паливо важкого фракційного складу, що відрізняється від вітчизняного марки «Л» значним вмістом фракцій, що википають при температурі вище 360 °С, і великим вмістом фракцій, що википають в інтервалі від 280 до 360 °С. Так, в паливі, що випускається при температурі до 360 °С переганяється 90% палива, а при температурі до 300 °С - 50%.

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виробництво такого палива дозволяє повніше використовувати нафту, отримуючи з неї більше світлих нафтопродуктів, потреба в яких зростає внаслідок дизелізації автомобільного транспорту.

Таблиця 1.1 - Фізико-хімічні характеристики дизельного палива

Показатели	Призначення		
	Літнє	Зимове	Арктичне
Цетанове число, одиниць, не менше	45	45	45
Фракційний склад:			
- 50% переганяється при температурі, °С, не вище	280	280	255
- 96% переганяється при температурі, °С, не вище	360	340	330
Температура застигання, °С, не вище	-10	-35...-45	-55
Температура помутніння, °С, не вище	-5	-25...-35	-
В'язкість, мм <sup>2</sup> /с, при 20 °С	3-6	1,8-5	1,5-4
Кислотність, мг КОН/100 см <sup>3</sup> , не більше	5	5	5
Температура спалаху, °С, не вище	40	35	30
Коефіцієнт фільтрації, не вище	3	3	3
Вміст смол, мг/100 г, не вище	40	30	30
Щільність при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не вище	860	840	830

### 1.3 Технічна характеристика технологічного обладнання

Досліджувана трубчаста піч представляє собою апарат, котрий призначається для нагрівання вихідних потоків за допомогою спалювання деякої кількості палива. У деяких випадках процес нагрівання супроводжується хімічними перетвореннями. У загальному у трубчастих печах які мають різноманітне призначення реалізуються такі процеси: теплотехнічні; термотехнологічні; гідродинамічні.

Зазвичай трубчасті печі будуються із камери згоряння чи камери радіації, в

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

котрій розташовуються радіальні труби та здійснюється процес спалювання палива, та відповідно камери конвекції, у котрій розташовуються конвекційні труби, що обігрівуються за допомогою димових газів, котрі відповідно поступають із камери згорання. Найвні труби конвекційної і радіальної камер печі з'єднані в один трубчастий змієвик, крізь який проходить підігрівуюча сировина.

Масообмінні процеси (ректифікація, абсорбція, екстракція і ін.) відносяться до найбільш енерго- і металомістких: більше 50% енергії витрачається на їх здійснення, близько 15% від загальної маси обладнання технологічної лінії становлять колонні апарати.

Колонні масообмінні апарати. Всі контактні пристрої поділяються на три класи: насадочні, роторні і тарілчасті. У нафтопереробній промисловості основним типом контактних пристроїв є тарілчасті пристрої, які, завдяки їх простоті, відносно низькій вартості, надійності та зручності в експлуатації, знайшли широке застосування практично у всіх процесах поділу. У напрямку руху контактуючих фаз тарілчасті контактні пристрої поділяються на протиточні, перехрестноточні, перехресно-прямоточні і прямоточні.

Нафтові насоси призначені для перекачування нафти, нафтопродуктів, зріджених вуглеводневих газів та інших рідин, подібних до зазначених за фізичними властивостями і корозійним впливом на матеріал проточної частини насосів. Перекачувана рідина не повинна містити більше 0,2% твердих частинок розміром до 0,2 мм.

Насоси виготовляються в різних кліматичних виконаннях і категоріях і призначені для роботи на відкритому повітрі і в приміщеннях, де можливе утворення вибухонебезпечних сумішей і газів.

Газоводорозділювач (сепаратор) представляє собою горизонтальну циліндричну посудину, яка призначена для розділювання газів та парів від поступаючої в них сировини. Вхідна сировина осідає у нижній частині і відводиться, а гази відводяться із верхньої частини сепаратора.

Теплообмінні апарати представляють собою пристрої, у котрих відбувається

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

теплообмін між певною кількістю теплоносіїв чи можливо між теплоносіями а також твердими тілами. У застосовуваному у проекті теплообміннику гарячий та холодний теплоносії циркулюють за допомогою різних каналів, по стінці між котрими відбувається обмін теплом. У зазначеному випадку процес передачі тепла володіє стаціонарним характером.

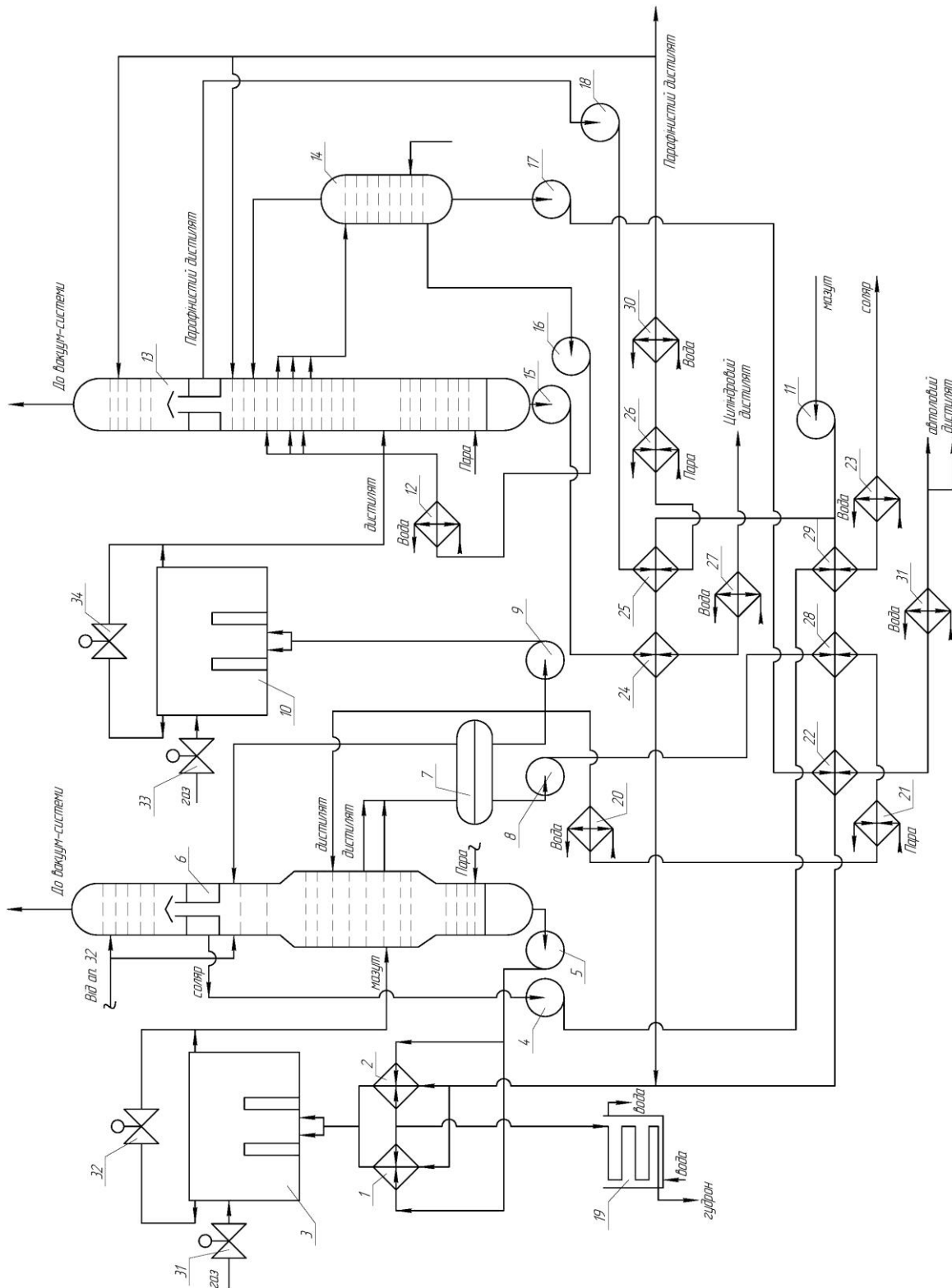
Холодильник представляє собою прилад, який призначений для конденсації парів рідини в процесі перегонки чи нагрівання (кип'ятіння). Дані апарати застосовують з метою відгонки наявних розчинників із реакційного середовища, з метою розділення наявних сумішей рідин на окремі компоненти (фракції) чи з метою очищення рідин за допомогою перегонки. Повітряний холодильник представляє з себе посудину із трубкою, по котрій переміщується охолоджувана сировина, котра охолоджується за допомогою навколишнього повітря чи за допомогою повітряного компресора. Повітряний компресор використовується виключно у роботі з висококиплячими рідинами. Принцип роботи водяного холодильника є подібний, але у ньому замість повітря використовується рідина (зокрема вода).

#### **1.4 Опис технологічного процесу вакуумної перегонки мазуту**

Призначенням установки двоступеневої вакуумної перегонки мазуту є виробництво масляних дистилатів менш широкого фракційного складу в порівнянні з отриманими на одноступеневих установках. В I ступені - з вакуумної фракційної колони - відводяться соляр, гудрон і масляний дистилат широкого фракційного складу. Масляний дистилат в II ступені розділяється на парафіністий (350-460°C), автоловий (460-490°C), циліндровий (початок кипіння 490°C).

Мазут нагнітається насосом 11, потім до поступлення в змієвики печі 3 нагрівається спочатку дистилатами (теплообмінники 29, 28 і 22 - перший потік мазуту, 25 і 24 - другий потік), а потім нагрівається гудроном в теплообмінниках 1 і 2. Вакуумна колона 6 слугує для розділення мазуту на соляр, масляний дистилат широкого фракційного складу, який збирається в вакуумному приймачі 7, і гудрон, який виводиться з колони насосом 5. Після охолодження частина гудрону повертається в верхню зону колони 6. Масляний дистилат після підігріву й охолодження поступає в середню зону колони 6.

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



1, 2, 22, 24, 25, 28, 29 - теплообмінники; 3, 10 - трубчасті печі; 4, 5, 8, 9, 11, 15-18 - насоси; 6, 13 - вакуумні колони;  
 7 - вакуумний приймач; 12, 19, 20, 23, 27, 30, 31 - холодильники; 14 - відпарна колона; 21, 26 - нагрівачі

Рисунок 1.1 - Технологічна схема установки двоступеневої вакуумної перегонки мазуту

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АКПЗд-28.00.00.000 ПЗ	Арк. 16
------	------	----------	--------	------	--------------------------	------------

Балансова кількість масляного дистилата широкого фракційного складу направляється в вакуумну колону 13.

Продуктами цієї колони є: парафіністий дистилат, автоловий дистилат, який відводиться насосом 17 з відпарної виносної секції і циліндровий дистилат, який направляється насосом 15 в теплообмінник 24 і холодильник 27.

Рециркулююча частина автолового дистилата, після охолодження в апараті 12, подається трьома потоками в середню зону колони 13. Відведений від колони 13 насосом 18 парафіністий дистилат, пройшовши послідовно теплообмінник 25, водопідігрівач 26 і холодильник 30, частково повертається, в верхню зону колони 13. В відпарній секції відводиться водяна пара. Режимми роботи колон показаний в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Режими роботи колон

Фізичні величини	Показники	Колона 6	Колона 13	Колона 14
Остаточний тиск, кПа	Верх колони	5,33	5,33	-
	Зона вводу сировини	13,33	14,53	-
Температура, °С	верх	70-90	90	-
	низ	390	340	320
Число тарілок в колоні		20	26	5

В залежності від прохідного січення клапана 31, на пальник трубчастої печі 3 подається газова суміш, яка загоряється в печі і нагріває рідину, яка поступає в трубки. Клапан 33 регулює поступання нагрітого в печі мазуту до вакуумної колони, а це спричинює зміну тиску вверху колони 13.

### 1.5 Вибір і обґрунтування регульованих величин і каналів регулюючих впливів

Основні параметри, що контролюються і регулюються в технологічному процесі двоступеневої вакуумної перегонки мазуту, є наступні:

- витрати робочої сировин (мазуту) на вході в установку;
- температура на виході із трубчастих печей;
- температура внизу відпарної колони;
- тиск на виході з вакуумної колони до вакуум-системи ;
- рівень в колоні 13 (вимірюється за допомогою первинного вимірування тиски внизу колони);
- в'язкість продукції(соляр).

### **1.6 Вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу**

Наявні у технологічному процесі збурення можна компенсувати за допомогою розробки ефективної АСР (автоматизованої системи регулювання) температури продукту на виході з печі, що управляється подачею палива у піч. Потрібно зауважити, що трубчасті печі мають деяке запізненням по передаванню тепла від вихідних димових газів до продукту через стінку змійовика, котра проходить безпосередньо по змійовику. Необхідно також відмітити, що перехідний процес каналу регулювання «витрата палива - температура продукту на виході» довготривалий. Тому при використанні одноконтурної АСР динамічна похибка а також час регуляції досягають великих значень.

У той же час температура газів над перевальною стінкою досить швидко змінюється відносно зміни режиму роботи трубчатої печі, обумовлене зміною кількості паливного газу, що подається на спалювання.

Саме тому можемо стверджувати, що суттєве покращення якості процесу регулювання температури продукту може бути реалізоване шляхом застосуванням каскадної схеми автоматичного регулювання, котра складається із процесу регулювання температури продукту, який виходить із печі (коригувальний регулятор), що відповідно вносить свій вплив на завдання для регулятора температури газів, який розташований над перевальною стінкою (стабілізуючий регулятор), котрий безпосередньо управляє подачею палива у досліджувану піч. У запропонованому випадку стабілізуючий регулятор здійснює компенсацію

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виникаючих збурень, котрі впливають безпосередньо на технологічний процес згоряння технологічного палива перед тим як вони викличуть зміну температури продукту.

При різкій зміні перевантаження печі по витраті нагріваючого продукту та у випадку присутності збурення за витратою палива застосовують вище описану схему з каскадним регулювання, стабілізуючий регулятор котрої здійснює вплив на сам регулятор співвідношення витрат продукту а також палива. В зазначеному випадку регулятор співвідношення керує подачею палива у піч (рис. 1.3).

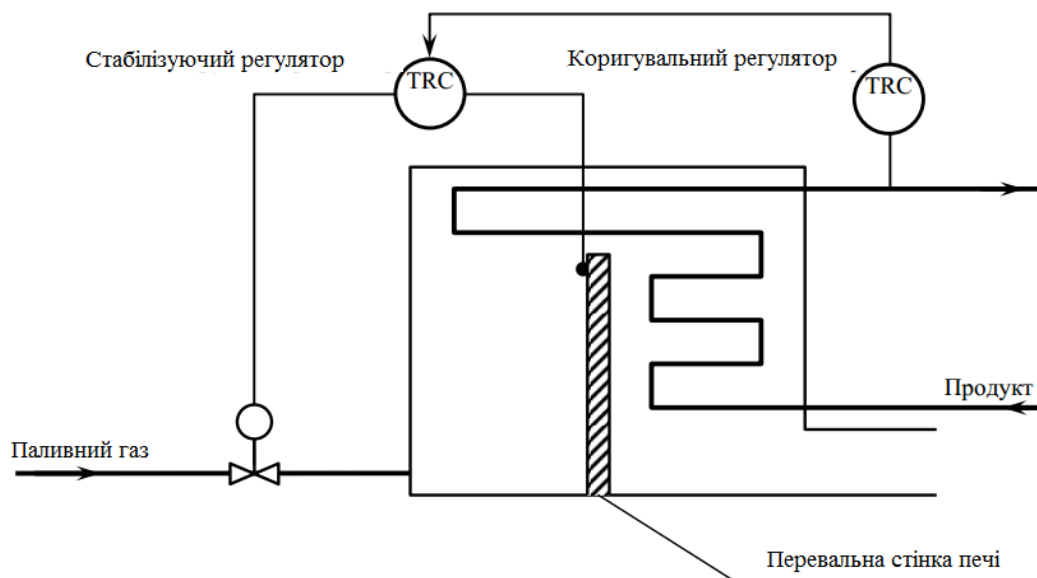


Рисунок 1.2 - Схема пов'язаного регулювання процесу трубчастої печі

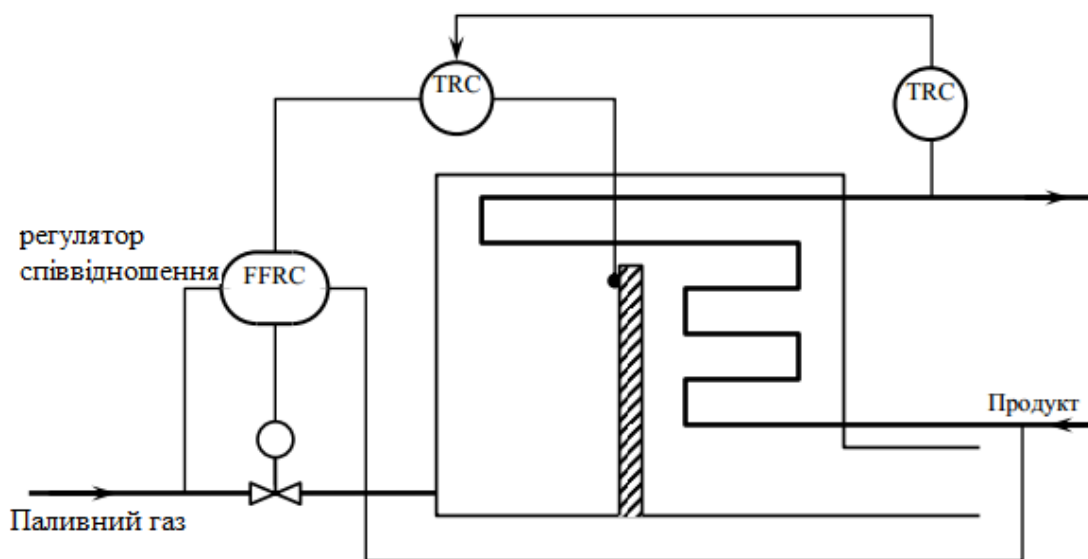


Рисунок 1.3 – Схема автоматичного регулювання (каскадна) трубчастої печі із використанням регулятора співвідношення паливний газ - продукт

Якщо у такому випадку теплотворна здатність палива суттєво змінюється, то відповідно необхідно направити на регулятор співвідношення певний коригувальний сигнал від даного регулятора стабілізації вмісту кисню у паливних газах. Дані зміни забезпечать повне згоряння палива а також високу якість автоматичного регулювання. Зміна тиску паливного газу являється сильним збуренням для режиму роботи трубчастої печі. Зазначене збурення компенсується введенням у розроблювану АСР температури продукту на виході із печі ще одного додаткового регулятора тиску (рис. 1.4), на котрий завдання подають від уже задіяного регулятора температури.

Зазначені АСР забезпечують якісний процес регулювання витрати паливного газу тому, що витрата газу у значній мірі залежить від тиску газу.

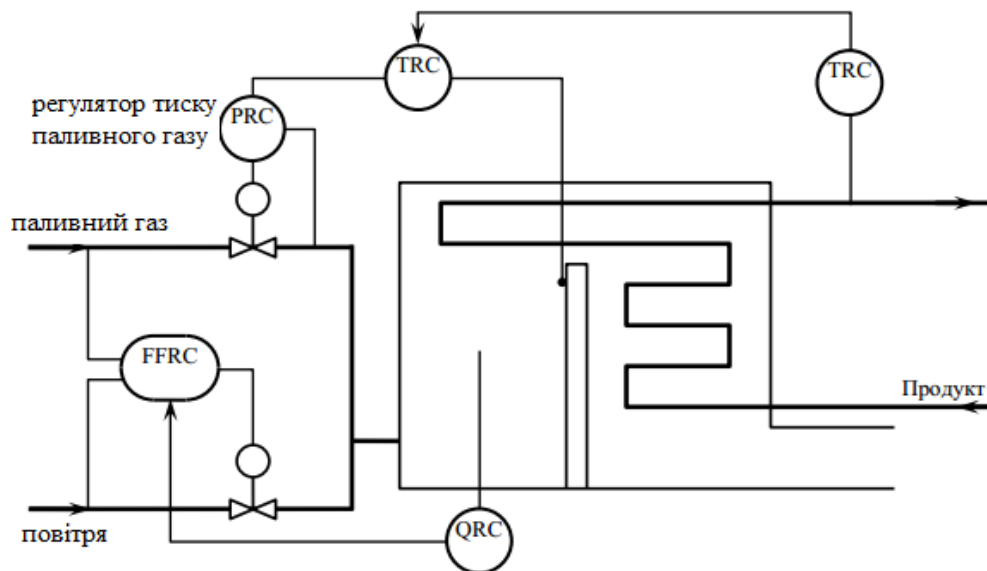


Рисунок 1.4 – Схема автоматичного регулювання (каскадна) температури продукту при виході із регулятором співвідношення паливний газ - повітря та ефективною корекцією за кількістю кисню у топкових газах

При регулюванні співвідношення паливний газ - повітря необхідно забезпечити заходи пов'язані із безпекою, оскільки у випадку нестачі повітря у топці печі може з'явитися вибухонебезпечна суміш. У випадку зменшення витрати повітря стосовно деякого значення необхідно обов'язково у автоматичному режимі зменшувати подачу палива у топку печі. Вирішення зазначеної задачі може бути здійснене у залежності від температури у топці від певного співвідношення

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

паливний газ - повітря, котре має екстремальний характер. Зазначений на рисунку 1.5 регулятор, який являється екстремальним визначає максимальні значення температури димових газів над перевальною стінкою, виконуючи деякий вплив на регулятор співвідношення паливного газу та повітря, керуючого в свою чергу подачею первинного повітря.

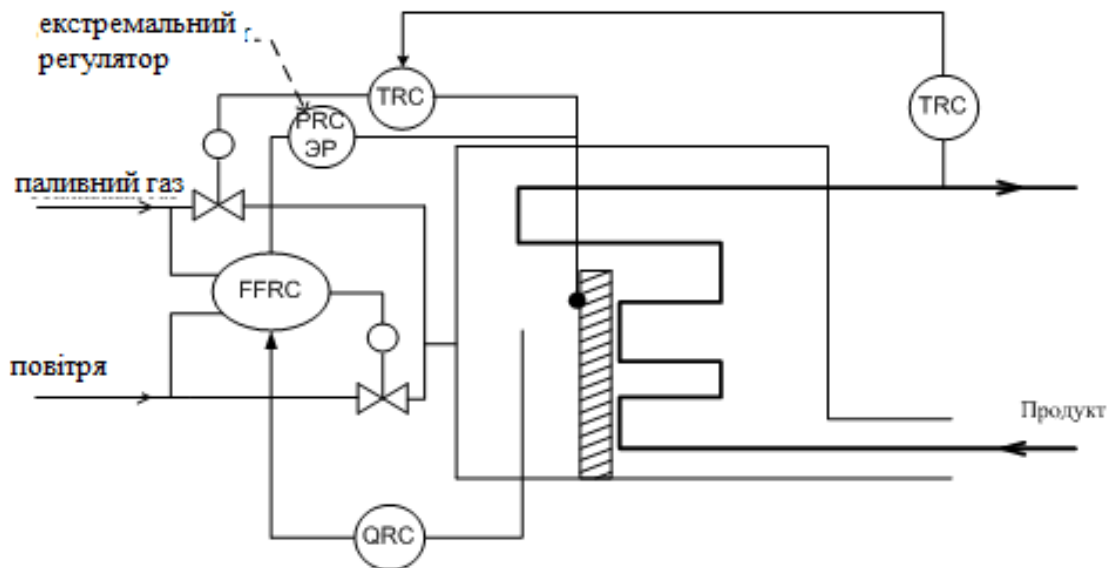


Рисунок 1.5 – Схема автоматичного регулювання температури продукту у печі із екстремальним регулятором, коректуючим співвідношення паливний газ - повітря

Основною задачею роботи є розробка системи автоматичного регулювання трубчастої печі, яка буде підтримувати потрібне значення температури продукту на виході з печі.

Для покращення якості процесу регулювання температури якості продукту на виході із печі у розроблюваній роботі досліджується каскадна система автоматичного регулювання температури продукту на виході із регулятором величини співвідношень паливний газ - димові гази і корекцією за концентрацією димових газів в топкових газах.

Як основний контур в каскадній системі виступає «співвідношення паливний газ - димові гази». Корируючим контуром є «витрата димових газів - вміст димових газів в печі».

## Висновок до розділу

Виконано аналіз технологічного процесу установки двохступеневої вакуумної перегонки мазуту. Було описано технологічний процес і характеристики сировини і продуктів процесу двоступеневої вакуумної перегонки мазуту. Вибрано п'ять регульованих величин.

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

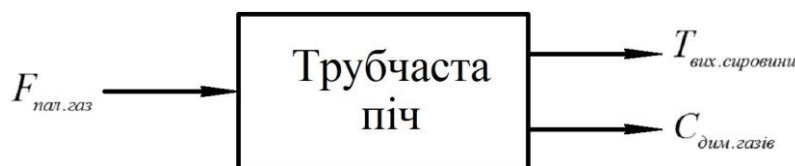
## 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ УСТАНОВКИ ДВОСТУПЕНЕВОЇ ВАКУУМНОЇ ПЕРЕГОНКИ МАЗУТУ

### 2.1 Вибір об'єкта керування та визначення його структурної схеми

Температура є найважливішим параметром процесу, оскільки вона визначає певну ступінь перетворення наявних вихідних речовин за реакціями, котрі протікають у процесі піролізу, та котрі протікають при розподілі продуктів піролізу. У випадку збільшення температури у результаті наявної первинної реакції підвищуються також виходи нижчих олефінів, водню і метану та відповідно знижується вихід алканів.

У даний час трубчасті печі складаються із камер згорання чи радіації, в котрій розташовуються радіальні труби а також спалюється паливо, а також камери конвекції, в котрій розташовуються конвекційні труби, котрі обігріваються за допомогою димових газів, котрі поступають із камери згорання. Труби конвекційної а також радіальної камер печі з'єднані в один трубчастий змієвик, крізь який проходить підігрівача сировина. Піч підігрівається в результаті спалювання природного газу, як палива на пальнику. Додатково подається гаряче повітря, що нагрівається за рахунок тепла димових газів, які виходять з печей. На виході з камери конвекції до сировини додається водяна пара, яка надходить від турбокомпресора.

Структурна схема керування трубчастою печею наведена на рисунку 2.1.



$F_{\text{пал.газ}}$  - витрата паливного газу;  $T_{\text{вих.сировини}}$  - температура сировини на виході з печі;

$C_{\text{дим.газів}}$  - концентрація димових газів в печі

Рисунок 2.1 - Структурна схема керування

### 2.2 Формування мети керування та вимог до системи керування, що проектується

Суть роботи трубчастої печі заключається у прокачуванні сировини через

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змійовик трубчастої печі та очевидно нагрівання її за допомогою тепла, котре утворюється в процесі спалюванні паливного газу.

Метою керування трубчастою піччю є стабілізація температури шляхом підтримання постійної температури, зниження витрат паливного газу при експлуатації трубчастої печі для зменшення собівартості системи

Основними функціями, виконуваних АСР, повинні бути функції:

1. Автоматичне регулювання вихідної температури сировини.
2. Автоматичне регулювання витрати природного газу.

### 2.3 Експеримент по визначенню динамічних характеристик

Для створення математичної моделі експериментальні дані об'єкта управління були отримана методом пасивного експерименту. Метод полягає в отриманні перехідних характеристик на основі вже відомих статистичних даних по об'єкту і визначення по ним коефіцієнтів передавальної функції.

Дані для експерименту отримані на виробництві наступним чином:

На вхід системи з відключеним регулятором подали поетапний вплив у вигляді 50-60% величини паливного газу.

Отримані в результаті експериментального дослідження значення за основним та допоміжним каналами автоматичного регулювання відображені у таблицях 2.1 і 2.2.

Таблиця 2.1 – Експериментальні дані за каналом дослідження «витрата паливного газу - температура сировини на виході з печі»

$t, c$	$F_{\text{пал.газ}}$	$T_{\text{вих.сировини}}$
0	60	420
10	60	420
20	60	421,0827
30	60	422,547
40	60	424,545
50	60	425,814
60	60	426,723

$t, c$	$F_{\text{пал.газ}}$	$T_{\text{вих.сировини}}$
70	60	427,452
80	60	428,181
90	60	428,451
100	60	428,631
110	60	428,73
120	60	428,82
130	60	428,91
140	60	428,91
150	60	429
160	60	429
170	60	429

Таблиця 2.2 - Результати експерименту по каналу «витрата паливного газу - концентрація димових газів в печі»

$t, c$	$F_{\text{пал.газ}}$	$C_{\text{дим.газів}}$
0	60	72
5	60	73,635
10	60	74,4
15	60	74,754
20	60	74,892
25	60	74,973
30	60	75
35	60	75

В відповідності до таблиці 2.1 та таблиці 2.2 побудуємо експериментальну перехідну характеристику за основним (витрата паливного газу - температура сировини на виході з печі) та допоміжним (витрата паливного газу - концентрація димових газів в печі) каналом регулювання (рисунок 2.2, рисунок 2.3).

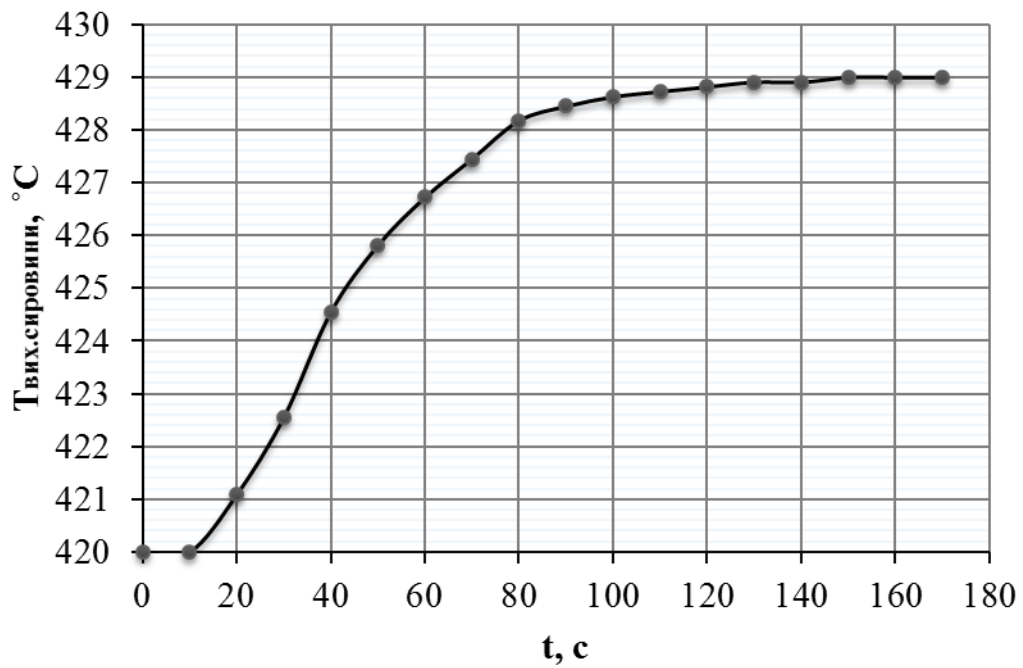


Рисунок 2.2 - Перехідна характеристика каналу регулювання «витрата паливного газу - температура сировини на виході з печі»

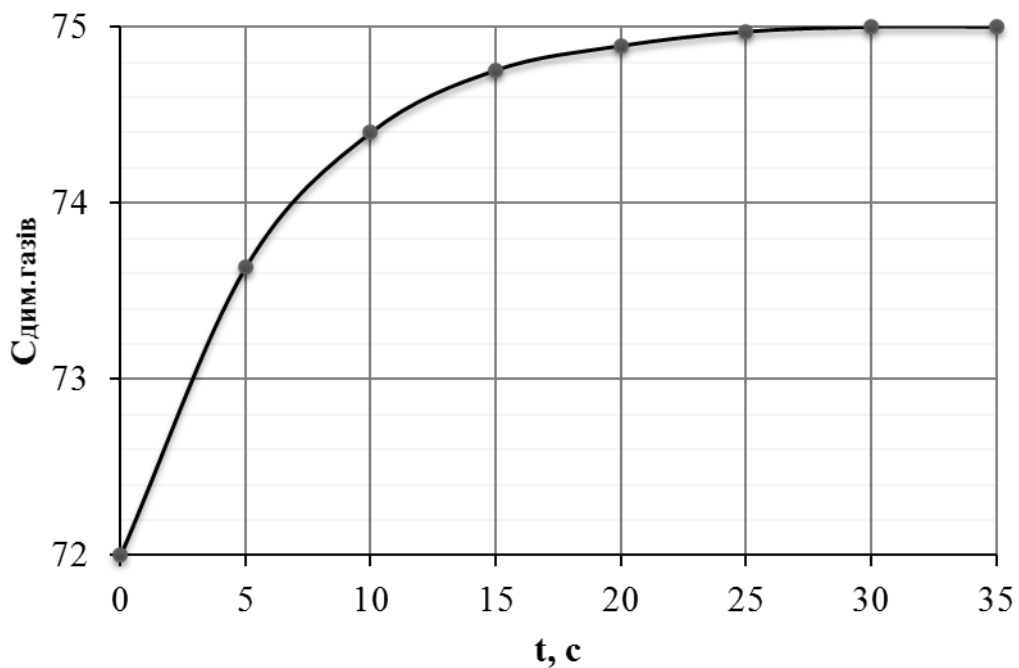


Рисунок 2.3 – Перехідна характеристика каналу регулювання «витрата паливного газу - концентрація димових газів в печі»

### 2.3.1 Обробка результатів основного каналу регулювання

Експериментальна перехідна характеристика, отримана в результаті активного експерименту (таблиця 2.1), приведена до безрозмірних величин. Формули для

переходу від розмірних до безрозмірних одиниць мають такий вигляд:

$$X_{\text{exi}} = \frac{X_{\text{exi}} - X_{\text{exo}}}{X_{\text{ex max}} - X_{\text{exo}}}, \quad (2.1)$$

$$Y_{\text{vixi}} = \frac{Y_{\text{vixi}} - Y_{\text{vixo}}}{Y_{\text{vix max}} - Y_{\text{vixo}}}, \quad (2.2)$$

де  $X_{\text{exi}}$ ,  $Y_{\text{vixi}}$  - поточні вхідні і вихідні значення величини у розмірних одиницях;

$X_{\text{exo}}$ ,  $Y_{\text{vixo}}$  - значення вхідних та вихідних величин у розмірних одиницях до моменту нанесення збурення на керований об'єкт;

$X_{\text{ex max}}$ ,  $Y_{\text{vix max}}$  - максимальне значення вхідної та вихідної величин у розмірних одиницях після закінчення перехідного процесу.

Виконаємо переведення отриманих експериментальних даних у безрозмірні величини згідно вищезазначених формул.

$$Y_{\text{vixo}} = \frac{420 - 420}{429 - 420} = 0;$$

$$Y_{\text{vix1}} = \frac{420 - 420}{429 - 420} = 0;$$

$$Y_{\text{vix2}} = \frac{421,0827 - 420}{429 - 420} = 0,1203;$$

$$Y_{\text{vix3}} = \frac{422,547 - 420}{429 - 420} = 0,283;$$

$$Y_{\text{vix4}} = \frac{424,545 - 420}{429 - 420} = 0,505;$$

$$Y_{\text{vix5}} = \frac{425,814 - 420}{429 - 420} = 0,646;$$

$$Y_{\text{vix6}} = \frac{426,723 - 420}{429 - 420} = 0,747;$$

$$Y_{\text{vix7}} = \frac{427,452 - 420}{429 - 420} = 0,828;$$

$$Y_{\text{vix8}} = \frac{428,181 - 420}{429 - 420} = 0,909;$$

$$Y_{\text{vix9}} = \frac{428,451 - 420}{429 - 420} = 0,939;$$

$$Y_{\text{vix10}} = \frac{428,631 - 420}{429 - 420} = 0,959;$$

$$Y_{\text{vix11}} = \frac{428,73 - 420}{429 - 420} = 0,97;$$

$$Y_{\text{vix12}} = \frac{428,82 - 420}{429 - 420} = 0,98;$$

$$Y_{\text{vix13}} = \frac{428,91 - 420}{429 - 420} = 0,99;$$

$$Y_{\text{vix14}} = \frac{428,91 - 420}{429 - 420} = 0,99;$$

$$Y_{\text{vix15}} = \frac{429 - 420}{429 - 420} = 1;$$

$$Y_{\text{vix15}} = \frac{429 - 420}{429 - 420} = 1;$$

$$Y_{\text{vix15}} = \frac{429 - 420}{429 - 420} = 1;$$

					БР.АКПЗд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$X_{ex} = 1.$$

Отримані значення зведемо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 - Експериментальні дані по каналу «витрата паливного газу - температура сировини на виході з печі» в безрозмірних одиницях

$t, c$	$X_{ex}$	$Y_{вих}$
0	1	0
10	1	0
20	1	0,1203
30	1	0,283
40	1	0,505
50	1	0,646
60	1	0,747
70	1	0,828
80	1	0,909
90	1	0,939
100	1	0,959
110	1	0,97
120	1	0,98
130	1	0,99
140	1	0,99
150	1	1
160	1	1
170	1	1

На основі даних представлених у таблиці 2.3 виконаємо побудову експериментальної характеристики у безрозмірних одиницях за основним каналом регулювання (рисунок 2.4).

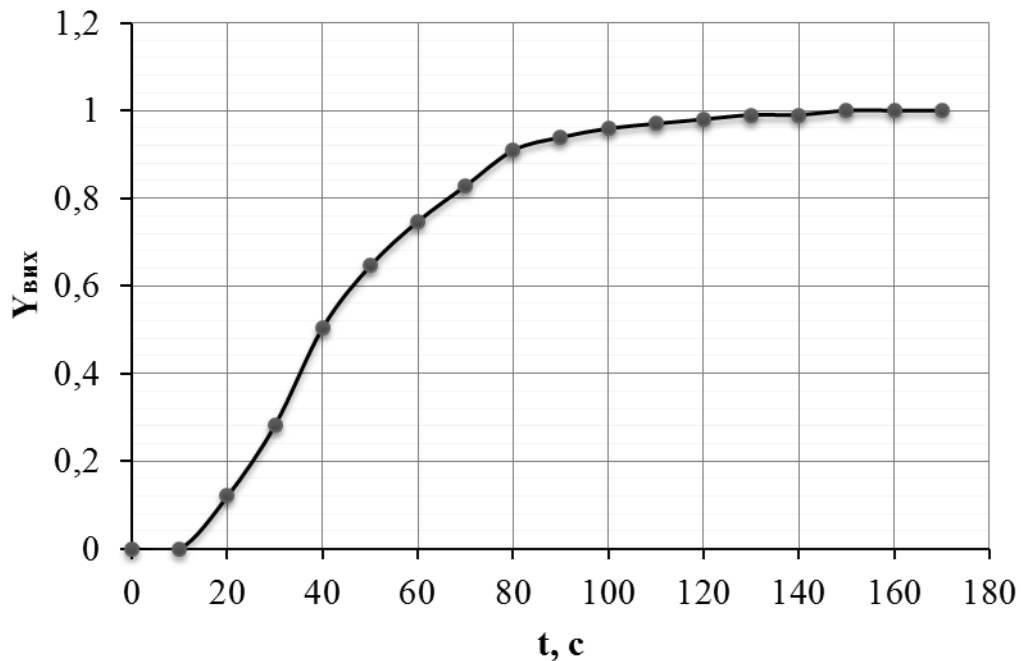


Рисунок 2.4 - Перехідна характеристика каналу регулювання «витрата паливного газу - температура сировини на виході з печі» у безрозмірних одиницях

Дану перехідну характеристику апроксимуємо (в безрозмірних одиницях) за допомогою Аргох. З результатів наведених в додатку А1 бачимо, що передавальна функція об'єкта по основному каналу матиме такий вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-5,306p + 1}{1201,324p^3 + 514,16p^2 + 41,211p + 1}. \quad (2.3)$$

Максимальна похибка апроксимації  $\delta = 2,1\%$  в точці  $t = 30$  с.

### 2.3.2 Обробка результатів експерименту по допоміжному каналу регулювання

Перехідну характеристику, яку отримано в результаті експериментального дослідження (таблиця 2.2), переведемо у безрозмірні величини згідно формул (2.1) і (2.2).

$$Y_{вих0} = \frac{72 - 72}{75 - 72} = 0;$$

$$Y_{вих1} = \frac{73,635 - 72}{75 - 72} = 0,545;$$

$$Y_{вих2} = \frac{74,4 - 72}{75 - 72} = 0,8;$$

$$Y_{вих3} = \frac{74,754 - 72}{75 - 72} = 0,918;$$

$$Y_{вих4} = \frac{74,892 - 72}{75 - 72} = 0,964;$$

$$Y_{вих5} = \frac{74,973 - 72}{75 - 72} = 0,991;$$

$$Y_{вих6} = \frac{75 - 72}{75 - 72} = 1;$$

$$Y_{вих7} = \frac{75 - 72}{75 - 72} = 1;$$

$$X_{ex} = 1.$$

Отримані дані переведу зведемо у таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 - Експериментальні дані по каналу «витрата паливного газу - концентрація димових газів в печі» в безрозмірних одиницях

$t, c$	$X_{ex}$	$Y_{вих}$
0	1	0
5	1	0,545
10	1	0,8
15	1	0,918
20	1	0,964
25	1	0,991
30	1	1
35	1	1

На основі даних представлених у таблиці 2.4 виконаємо побудову експериментально отриманої перехідної характеристики за допоміжним каналом регулювання у безрозмірних одиницях (рис. 2.5).

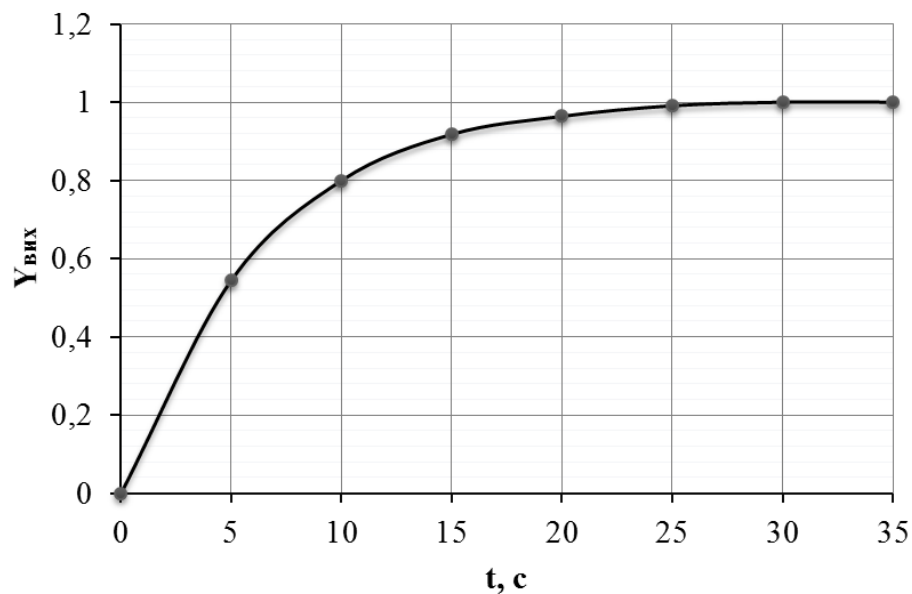


Рисунок 2.5 - Перехідна характеристика каналу регулювання «витрата паливного газу - концентрація димових газів в печі» у безрозмірних одиницях

Дану перехідну характеристику апроксимуємо у безрозмірних одиницях за допомогою Апрох. З результатів додатку А2 бачимо, що передавальна функція об'єкта за допоміжним каналом регулювання матиме вигляд:

$$W_1(p) = \frac{1}{6,093p + 1}. \quad (2.4)$$

Максимальна похибка апроксимації  $\delta = 1,4\%$  в точці  $t = 5$  с.

### **Висновок до розділу**

В цьому розділі було обрано об'єкта керування і визначено його структурну схему. Керованою величиною обрано температуру вихідної сировини. Керуючою дією обрано ступінь відкриття клапана, який регулює витрату паливного газу. Визначено функції передачі по основному та допоміжному каналах регулювання.

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 СИНТЕЗ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

#### 3.1 Вибір і аналіз технологічного об'єкта з метою створення системи автоматичного керування

Основною метою регулювання трубчастої печі є стабілізація температури продукту на виході з неї. В нашому випадку регулювання здійснюється по двох контурах: перший, основний - за допомогою зміни витрати газу на вході, що впливає на температуру вихідного продукту; другий - зміною витрати паливного газу на вході, що впливає на концентрацію димових газів в печі.

З урахуванням того, що один із каналів автоматичного регулювання володіє більшою інерційністю відносно іншого, саме тому з метою автоматизації розроблюваної системи являтиметься доцільним застосування каскадної системи автоматичного регулювання. У такому випадку система автоматичного регулювання включає у себе два регулятора, а саме основний (зовнішній) регулятор, котрий призначений для стабілізації основного виходу об'єкта, а також допоміжний (внутрішній) регулятор, котрий призначається для регулювання допоміжної координати. Завданням для допоміжного регулятора служить вихідний сигнал основного регулятора.

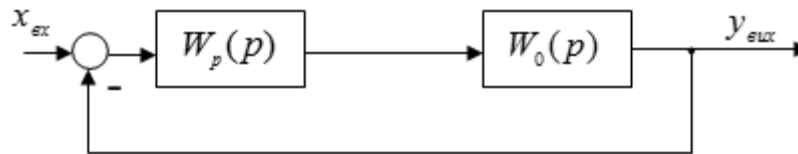
Вибір закону регулювання визначається призначення регуляторів. З метою підтримання основної вихідної координати на деякому встановленому рівні без наявності статичної помилки закон автоматичного регулювання для основного регулятора має включати у свій склад інтегральну складову. Допоміжний регулятор забезпечує швидкодію, саме тому у нього закон регулювання може бути будь яким.

Узагальнене порівняння одноконтурних а також каскадних АСР засвідчує, що як наслідок більш високої швидкодії внутрішнього контуру у каскадній АСР покращується якість перехідного процесу, особливо це стосується у випадку компенсації збурень, котрі поступають за каналом регулювання. У зазначеному випадку інерційність об'єкта керування завдяки наявному внутрішньому контуру зменшується порівняно із інерційністю основного каналу автоматичного регулювання.

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

### 3.2 Розрахунок оптимальних параметрів налаштування регуляторів в одноконтурній АСР

Структурна схема апарату при використанні одноконтурної АСК наведена на рисунку 3.1.



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

Рисунок 3.1 - Структура одноконтурної АСК

Об'єкт автоматизації вимагає високої точності регулювання, особливо це в нашому випадку стосується регулювання температури низу бутанової колони.

З метою регулювання температури нижньої частини колони використаємо ПІ-регулятор, статична похибка для процесу регулювання якого дорівнює нулю, а передавальна функція має такий вигляд:

$$W_p(p) = \frac{C_1 p + C_0}{p}. \quad (3.1)$$

Обрахуємо за допомогою підпрограми Tune програмного продукту MATLAB параметри регулятора  $C_1$ ,  $C_0$ . Отож відповідно до наведених у додатку Б1 результатів отримаємо:  $K_p = C_1 = 0.57162$ ,  $K_i = C_0 = 0.019786$ . Тоді:

$$W_p(p) = \frac{0.57162p + 0.019786}{p}.$$

Функція передачі розімкненої системи має вигляд:

$$W_{роз}(p) = W_0(p) \cdot W_p(p), \quad (3.2)$$

Отже:

$$\begin{aligned} W_{роз}(p) &= \frac{-5,306p + 1}{1201,324p^3 + 514,16p^2 + 41,211p + 1} \cdot \frac{0.57162p + 0.019786}{p} = \\ &= \frac{-3,033p^2 + 0,467p + 0,019786}{1201,324p^4 + 514,16p^3 + 41,211p^2 + p}. \end{aligned}$$

Функція передачі замкнутої системи автоматичного регулювання має вигляд:

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{зам}(p) = \frac{W_{роз}(p)}{1 + W_{роз}(p)}. \quad (3.3)$$

Отже:

$$W_{зам}(p) = \frac{-3,033p^2 + 0,467p + 0,019786}{1201,324p^4 + 514,16p^3 + 38,178p^2 + 1,467p + 0,019786}. \quad (3.4)$$

### 3.3 Розрахунок оптимальних параметрів налаштування регуляторів в каскадній АСР

Каскадні АСР використовують для автоматизації об'єктів, котрі мають велику інерційність за каналом регулювання.

Для каскадної системи визначають два регулятори - основний (зовнішній) та допоміжний (внутрішній). Основний регулятор служить для стабілізації основного виходу об'єкта. Допоміжний регулятор призначений для регулювання допоміжної координати. Сигнал основного регулятора служить завданням для допоміжного регулятора.

Структурна схема каскадної АСК наведена на рисунку 3.2.

В промисловому використанні в даний час найбільш популярними є такі три типи каскадних : ПІ-ПІ; П-ПІ; ПІ-ПІД.

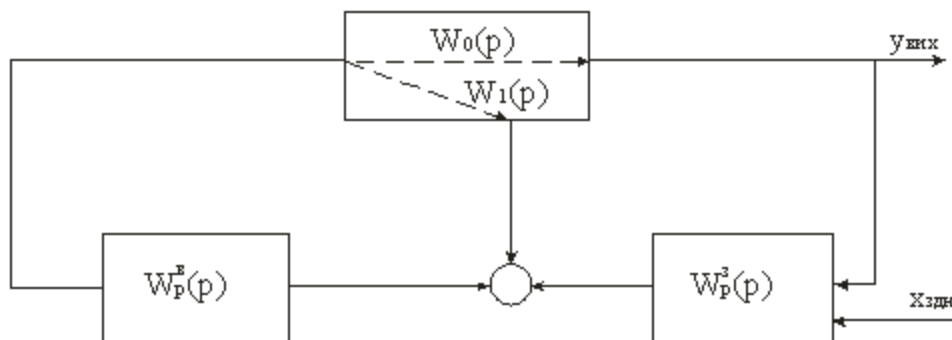


Рисунок 3.2 - Структурна схема каскадної АСК

Розрахунок розпочнемо з допоміжного регулятора. Передавальна функція матиме вигляд:

$$W_e''(p) = W_1(p) + W_0(p) \cdot W_p^3(p).$$

де  $W_0(p)$  - передавальна функція за основним каналом регулювання:

$$W_0(p) = \frac{-5,306p + 1}{1201,324p^3 + 514,16p^2 + 41,211p + 1}$$

$W_1(p)$  - передавальна функція за допоміжним каналом регулювання:

$$W_1(p) = \frac{1}{6,093p + 1}$$

$W_p^3(p)$  - передавальна функція зовнішнього регулятора.

Вважатимемо, що зовнішній регулятор рівний нулю, тобто  $W_p^3(p) = 0$ .

Після спрощень отримаємо:

$$W_e''(p) = W_1(p)$$

Визначення оптимальних параметрів налаштування допоміжного регулятора (ПІ-регулятора) здійснимо з допомогою функції Tune програмного продукту Matlab.

Відповідно до даних додатку Б2 отримаємо  $K_p = C_1 = 9,2319$ ,  $K_i = C_0 = 11,96$ .

$$W_p^e(p) = \frac{9,2319p + 11,96}{p}$$

Для визначення параметрів налаштування основного регулятора використаємо таку передавальну функцію:

$$W_e'(p) = \frac{W_p^e(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_p^e(p)} W_0(p), \quad (3.5)$$

Провівши належні передворення отримаємо:

$$W_e'(p) = \frac{-298.46p^3 - 379.39p^2 + 18.64p + 11.96}{7319.67p^5 + 15424.6p^4 + 19879.78p^3 + 6577.11p^2 + 503.11p + 11.96}$$

Параметри налаштування ПІ-регулятора також визначимо за допомогою функції Tune. Результати обчислень наведені в додатку Б3 з яких бачимо, що оптимальні параметри наступні:

$$W_p^3(p) = \frac{0,67057p + 0,024697}{p}$$

Еквівалентну передавальну функцію каскадної АСК має вигляд:

$$W_e^{кас}(p) = \frac{W_p^3(p)W_0(p)W_p^e(p)}{W_p^3(p)W_0(p)W_p^e(p) + W_1(p)W_p^e(p) + 1} \quad (3.6)$$

					БР.АКПЗд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Здійснивши підстановку значень та провівши усі алгебраїчні перетворення отримаємо:

$$W_e^{кас}(p) = \frac{-200.14p^4 - 261.782p^3 + 3.13p^2 + 8.48p + 0.2954}{7319.67p^6 + 15424.6p^5 + 19679.63p^4 + 6315.33p^3 + 506.25p^2 + 20.44p + 0.2954}$$

### 3.4 Дослідження на стійкість одноконтурної АСР

На основі критерію Михайлова АСК, яка описується рівнянням n-ого порядку, стійка, коли годограф Михайлова проходить n квадрантів і іде в нескінченність.

Характеристичний поліном матиме вигляд:

$$F(p) = 1201,324p^4 + 514,16p^3 + 38,178p^2 + 1,467p + 0,019786.$$

Прирівняємо даний поліном до нуля:

$$1201,324p^4 + 514,16p^3 + 38,178p^2 + 1,467p + 0,019786 = 0.$$

Зробимо підстановку  $p = j\omega$ :

$$1201,324\omega^4 - 514,16j\omega^3 - 38,178\omega^2 + 1,467j\omega + 0,019786 = 0.$$

Виділимо дійсну та уявну частини:

$$P(\omega) = 1201,324\omega^4 - 38,178\omega^2 + 0,019786;$$

$$Q(\omega) = -514,16\omega^3 + 1,467\omega.$$

Програмний пакет Mathcad використаємо з метою побудови годографа Михайлова (Додаток В1). З отриманих результатів бачимо, що годограф Михайлова проходить чотири квадранти і степінь полінома є четвертий, отже, згідно критерію Михайлова система стійка.

### 3.5 Дослідження на стійкість каскадної АСР

Характеристичний поліном має такий вигляд:

$$F(p) = 7319.670p^6 + 15424.60p^5 + 19679.630p^4 + 6315.330p^3 + 506.250p^2 + 20.440p + 0.29540.$$

Прирівняємо характеристичний поліном до нуля:

$$7319.670p^6 + 15424.60p^5 + 19679.630p^4 + 6315.330p^3 + 506.250p^2 + 20.440p + 0.29540 = 0.$$

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Зробимо заміну  $p = j\omega$ :

$$\begin{aligned} & -7319.670\omega^6 + 15424.60j\omega^5 + 19679.630\omega^4 - \\ & -6315.330j\omega^3 - 506.250\omega^2 + 20.440j\omega + 0.29540 = 0. \end{aligned}$$

Після заміни виділимо дійсну а також наявну уявну частину:

$$\begin{aligned} P(\omega) &= -7319.67\omega^6 + 19679.63\omega^4 - 506.25\omega^2 + 0.2954; \\ Q(\omega) &= 15424.6\omega^5 - 6315.33\omega^3 + 20.44\omega. \end{aligned}$$

Процес побудови годографа Михайлова виконаємо за допомогою використання програмного продукту Mathcad. З результатів наведених у додатку В2 бачимо, що годограф проходить шість квадрантів, отже, згідно критерію Михайлова система стійка.

### 3.6 Оцінка якості керування за перехідними характеристиками

По графіку перехідного процесу оцінимо якість системи автоматичного керування. Для побудови графіків одноконтурної та каскадної системи регулювання використаємо програмний пакет Matlab (рис. 3.3, 3.4).

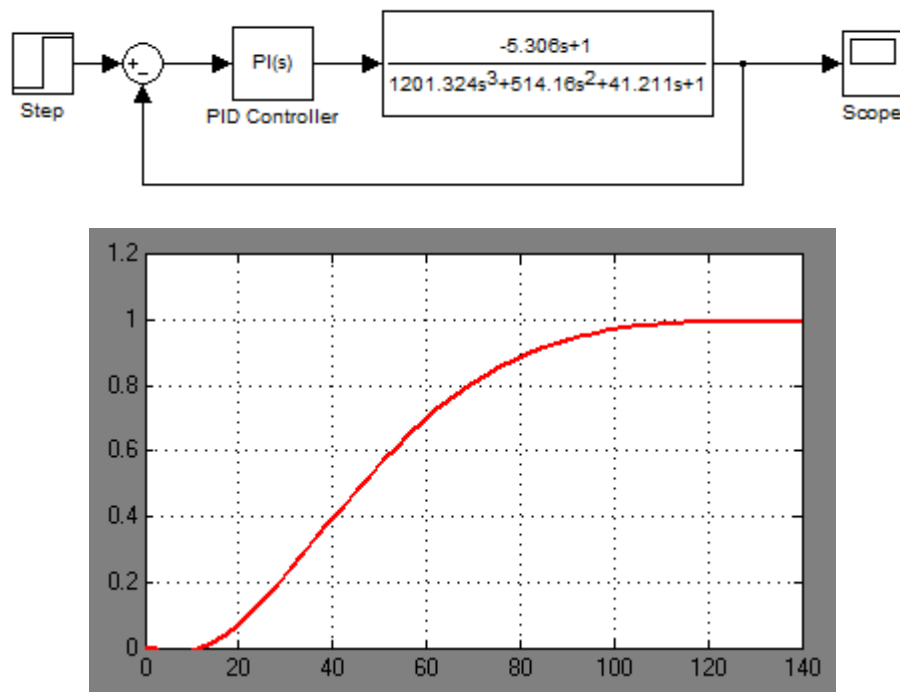


Рисунок 3.3 - Перехідна характеристика одноконтурної системи регулювання

Оцінку якості одноконтурної системи виконаємо на основі таких показників:

- тривалість процесу:

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$t_n = 115 \text{ с};$$

- перерегулювання системи:

$$\delta = \frac{x_{\max} - x_{\infty}}{x_{\infty}} \cdot 100\% = \frac{1,0 - 1,0}{1,0} \cdot 100\% = 0\% ;$$

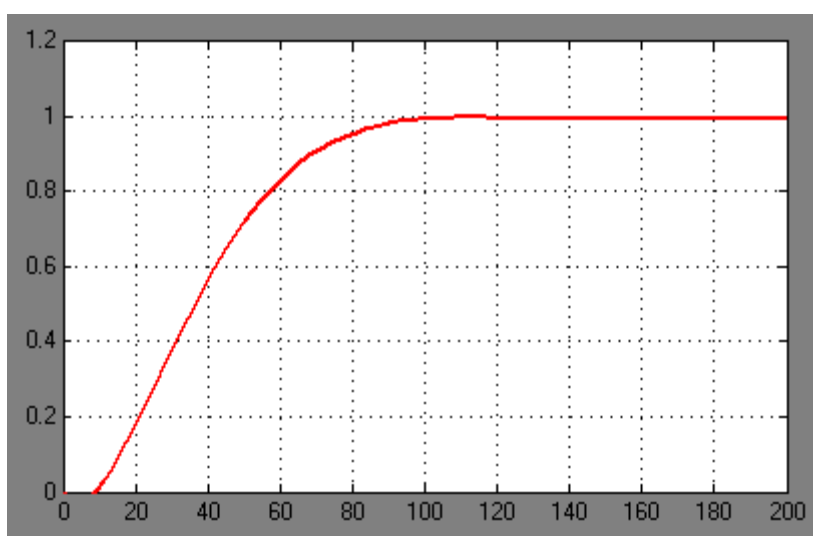
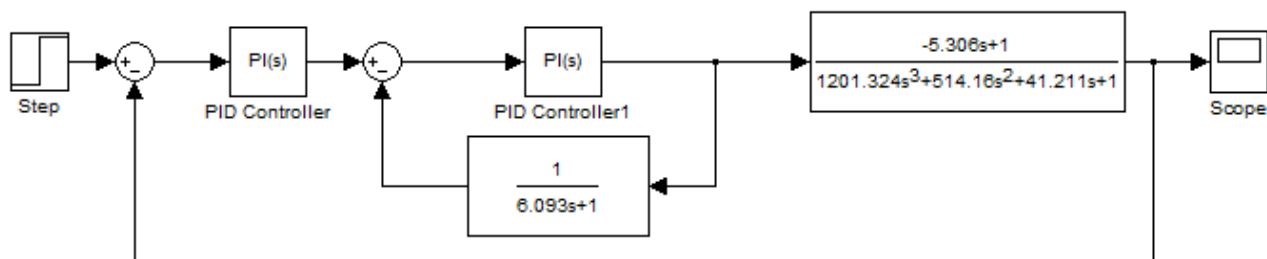


Рисунок 3.4 - Перехідна характеристика каскадної системи регулювання

Оцінку якості каскадної системи виконаємо на основі таких показників:

- тривалість процесу:

$$t_n = 98 \text{ с};$$

- перерегулювання системи:

$$\delta = \frac{x_{\max} - x_{\infty}}{x_{\infty}} \cdot 100\% = \frac{1,0 - 1,0}{1,0} \cdot 100\% = 0\% .$$

### Висновки до розділу

В розробленій АСР реалізована каскадна система регулювання температури продукту на виході по двох каналах: основному каналу співвідношення паливний газ - повітря і коригуючому каналу за вмістом кисню в топкових газах. Також

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

реалізована одноконтурна система регулювання температури продукту на виході. В результаті моделювання в програмному пакеті MatLab, отримана перехідна характеристика процесу, якість якої є достатньо висока. Проаналізовано, що для регулювання температури продукту на виході з печі доцільно використати каскадну систему, так як в порівнянні з одноконтурною, кращі прямі показники якості (менший час перехідного процесу, менше перерегулювання). Дослідження на стійкість показали, що система є стійкою.

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

## 4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА САК

### 4.1 Проектування функціональної схеми автоматизації

На основі вибраних засобів автоматизації проектуємо загальну ФСА нагрівння повітря, яка входить до складу проекту в процесі розробки технічної документації абсолютно на усіх стадіях проектування.

Задіяні у проекті ТЗА а також короткі їхні характеристики відображені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Технічні засоби автоматизації

Позна-чення на ФСА	Марка пристрою	Технічні характеристики
7-1	ультразвуковий витратомір SIEMENS SITRANS FUM 1010 з підключенням clamp-on	діапазон потоку: $\pm 12$ м/с, двонаправлений; калібруюча похибка: $\pm 0.3\%$ ; вхідний сигнал: струм 4...20 мА; вихідний сигнал: струм 4...20 мА, напруга 0...10 V
2-1	тензометричний давач тиску ОВЕН ПД100-ДІ 0.025-111-0.5 на основі технології "кремній на кремній".	верхня межа вимірювання тиску: 0.025 МПа; основна приведена похибка: $\pm 0.5\%$ ; вихідний сигнал: уніфікований сигнал постійного струму 4...20 мА; ступінь захисту: IP65.
8-1; 4-1; 1-1	термоперетворювач опору платиновий ОВЕН ДТС XX5 Pt100	діапазон вимірювання температури: 50 до +100; похибка вимірювання: $\pm 0.1\%$ ; група кліматичного виконання: Д2,Р2; ступінь захисту: IP54; Матеріал захисної арматури: сталь 12Х18Н10Т.

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк. 40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Позна- чення на ФСА	Марка пристрою	Технічні характеристики
6-1	високоточний пристрій для вимірювання в'язкості нафти серії EMERSON MICROMOTION 7829 Viscomaster	тип: хромель-алюмінієвий; діапазон вимірювання: 0 - +900° С; вихідний сигнал: уніфікований 4-20 мА змінний струм; стійкий до корозій, окиснення, вібрацій.
5-1	гідростатичний рівнемір SIEMENS SITRANS P, серія DSIII для рівня 7МГ4633 з чутливим елементом - кремнієвим п'єзорезистором.	верхня границя вимірювання: 100сСт; клас точності ±1%; вихідний сигнал: 4...20 mA; діапазон температур: від -50 до +200°С; канал інтерфейсу зв'язку: RS-485 Modbus.
всі клапани	клапан з верхнім штоком універсальний регулюючий серії 2000	тип - прохідний; розміри 15..300/1..12" характеристика лінійна рівнопроцентна; конструкція запірного органу: параболічна з шумозаглушенням електричний привід серії M6421 без позиціонера, живлення 24В і 220В.

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Позначення на ФСА	Марка пристрою	Технічні характеристики
Контролер	МІК-51	Мікроконтролер призначений для автоматичного регулювання, індикації технологічних параметрів, сигналізації, і логічного управління технологічними процесами. Тип мікроконтролера - МІК-51-00-37-03-03-03-3-Т0-0-Р00-24-UA. 8 аналогових уніфікованих входів. 3 дискретних входів. Вбудовані уніфіковані вихідні аналогові сигнали, які мають постійний струм 0-20мА, 4..20мА. Об'єм пам'яті: ОЗУ - 8 кбайт, ПЗУ - 256 кбайт. Похибки перетворення: АЦП: ± 0.2%; ЦАП: ± 0.2%. Швидкість обміну інформацією становить до 921 Кбіт/с. Канал інтерфейсної зв'язку RS-485. Температура навколишнього середовища знаходиться в межах від -40 °С до +70 °С.

#### 4.2 Розробка загального виду щита

Щити проєктованих систем автоматизації мають відповідати встановленим стандартам та керівним матеріалам. Щити призначаються для розміщення у закритих приміщеннях із навколишньою температурою в межах від мінімальної

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

мінус 30 до максимальної плюс 50°C за відносної вологості не більшої 80% а також абсолютної відсутності вібрацій, агресивних газів а також парів чи струмопровідного пилу.

У випадку встановлення на щиті приладів, які розраховані для роботи у меншому діапазоні зміни температур чи за меншої вологості, то відповідні вимоги за температурою навколишнього середовища для місці встановки щита мають визначатися певними технічними умовами для експлуатацію зазначених приладів чи апаратури.

Щити систем автоматизації повинні використовуватись тільки у системах автоматизації технологічних процесів строго до області поширення. Застосування таких щитів для інших випадків узгоджується проектною установою безпосередньо із виробниками.

Дивлячись на конструктивні особливості, зокрема ступінь захисту від дотиків до струмопровідних частин рекомендованим є застосування:

- штативів всіх типорозмірів - як конструкцію для установки допоміжної апаратури (реле, апаратури живлення, перетворювачів, регулюючих і функціональних блоків системи «Старт» і т.п.), що розташовуються у апаратних приміщеннях у просторі поза щитами у операторському та диспетчерському приміщеннях;

- щитів шафових одиночних, дво- і трисекційних з задніми дверима, та малогабаритних – у певних виробничих приміщеннях, та в щитових приміщеннях у певних технічно обгрунтованих випадках;

- щитів шафових із передніми а також задніми дверима - для релейних а також інших допоміжних щитів, які мають двостороннє обслуговування;

- щитів панельних з каркасом усіх типорозмірів та допоміжних елементів до них - в диспетчерських та операторських приміщеннях.

### **4.3 Розробка схеми електричних з'єднань щита**

Схеми з'єднань відображають електричні з'єднання наявних складових частин

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

пристроїв електроприводу а також визначають джгути, проводи, шини а також кабелі, котрими виконуються дані з'єднання, а також фактичні місця їхнього зєднання а також вводу. Розрізняють схеми внутрішніх і зовнішніх з'єднань, хоча ці терміни введені в стандарти умовно для зручності викладу правил виконання схем і не вказуються в найменуванні схем з'єднань.

Розміщення зображень вхідних і вихідних елементів (виводів) усередині графічних позначень пристроїв і елементів повинне приблизно відповідати їхньому розташуванню у виробі.

На схемі підключень відображають зовнішні з'єднання складових частин загальної схеми за допомогою електропроводів між собою чи з приладами і елементами, які розташовані на установці, а також відображають необхідні проводи, джгути а також кабелі, котрими виконується підключення. Схеми підключень застосовуються у випадку здійснення підключення у процесі виготовлення установки електроприводу а також при її експлуатації.

Дані схеми розміщення електроприводів розробляються у контурі деякого обрису технологічної установки без жодного дотримання масштабу. Дійсне просторове розташування складових частин електропривода враховується приблизно або не враховується зовсім. На схемі відображають електричні машини, окремо розташовані резистори, перетворювачі, трансформатори, реактори, вимикачі, шафи, панелі, задатчики а також датчики швидкості, положення а також інших параметрів, різні прилади сигналізації, індикації а також інші електричні елементи та пристрої, котрі розміщені на технологічній установці чи за її межами. На схемі розташування зображують також розташування проводів, джгутів і кабелів, якими з'єднані складові частини електропривода. При необхідності на схемі розташування вказують конструкцію, місце й приміщення, де будуть розташовані складові частини електропривода.

### **Висновок до розділу**

В цьому розділі було спроектовано схему електричних з'єднань,

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

функціональну схему автоматизації а також схему загального виду щита. Здійснено вибір технічних засобів автоматизації.

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

## ВИСНОВКИ

При виконанні роботи розглянуто процес двоступеневої вакуумної перегонки мазуту. Складено електричну схему з'єднання проводок та схему загального виду щита. Даний проект є надійним, з точки зору капіталовкладень, так як оснащення цеху сучасним технологічним обладнанням та сучасними технічними засобами автоматизації веде до економії енергоресурсів і призводить до швидкої окупності капіталовкладень. В роботі було розроблена технологічна схема відповідного процесу, проведений аналіз (наведено характеристика) основних стадій, здійснено дослідження на стійкості, розроблено каскадну і одноконтурну системи керування, проаналізовано стійкість і якість систем. Здійснено розробку таких елементів графічної частини: функціональну схему автоматизації, схему електричних з'єднань проводок, схему щита.

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Гаєва Л.І. Електронний конспект лекцій з дисципліни виробничі процеси і обладнання об'єктів автоматизації. Івано-Франківськ, 2011. 89 с.
2. Лагойда, А. І. Мікроконтролери та програмовані логічні контролери [Текст]: лаб. практикум / А. І. Лагойда, М. І. Когутяк, Л. І. Лагойда. – Івано-Франківськ : ІФНТУОГ, 2020. – 88 с.
3. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: Підручник. - 2-ге вид., перероб. і доп. К.: Либідь, 2007. 656 с.
4. Зайцев Г. Ф., Стеклов В. К., Бріцький О. І. Теорія автоматичного управління. К.: Техніка, 2002. 688 с.
5. Дранчук М. І. Проектування систем автоматизації технологічних процесів в нафтовій та газовій промисловості.: навч. посіб. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2005. 448 с.
6. Боженко М. Ф., Сало В. П. Енергозбереження в теплопостачанні: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2008. 268 с.
7. Семенцов Г.Н. Теорія автоматичного керування. Івано-Франківськ: Факел, 1999. 320с.
8. Семенцов Г. Н., Когуч Я. Р., Дранчук М. М. Планування та обробка результатів експерименту. Івано-Франківськ: Факел, 2003. 222 с.
9. Бербець Т.О. Практикум ТАК. Івано-Франківськ: Факел, 2011. 130 с.
10. Когутяк М. І., Когуч Я. Р., Лещій Р. М. Автоматизація неперервних технологічних процесів в нафтовій та газовій промисловості: навч. посіб. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2006. 286 с.
11. Бербець Т. О., Шавранський М. В. Ідентифікація та моделювання об'єктів автоматизації: метод. вказівки. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. 68с.

					БР.АКПзд-28.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

ДОДАТКИ

# Додаток А1

Апроксимація V1.0.

Поліном знаменника N    
 Поліном чисельника M    
 Вхідне збурення  $X_0$

Крок дискретності T    
 Кількість дискрет переходної x-ки NK

t,c	y(t)	h(t)	δ(t)
40	0,5050	0,4860	0,0190
50	0,6460	0,6370	0,0090
60	0,7470	0,7520	0,0050
70	0,8280	0,8350	0,0070
80	0,9090	0,8930	0,0160
90	0,9390	0,9320	0,0070
100	0,9590	0,9580	0,0010
110	0,9700	0,9740	0,0040
120	0,9800	0,9850	0,0050
130	0,9900	0,9910	0,0010
140	0,9900	0,9950	0,0050
150	1,0000	0,9970	0,0030
160	1,0000	0,9980	0,0020
170	1,0000	0,9990	0,0010

Fi	Ai	Bi	Ui	Vi
46,518	1,0000	1,0000	-0,0478	-0,0147
761,03...	41,21...	-5,3070	-0,0478	0,0147
5240,1...	514,1...		-0,3323	0,0000
27809,...	1201,...			

Максимальна похибка  $\Delta_{\text{Max}}=2,10\%$  в точці  $T=30c$   
 $W(p) = \frac{1,000 \cdot (-5,306p^1 + 1,000)}{1201,324p^3 + 514,160p^2 + 41,211p^1 + 1,000}$

- y(t) - h(t)

## Додаток А2

Апроксимація V1.0.
✕

Поліном знаменника N

Поліном чисельника M

Вхідне збурення X<sub>0</sub>

Крок дискретності T

Кількість дискрет переходної x-ки NK

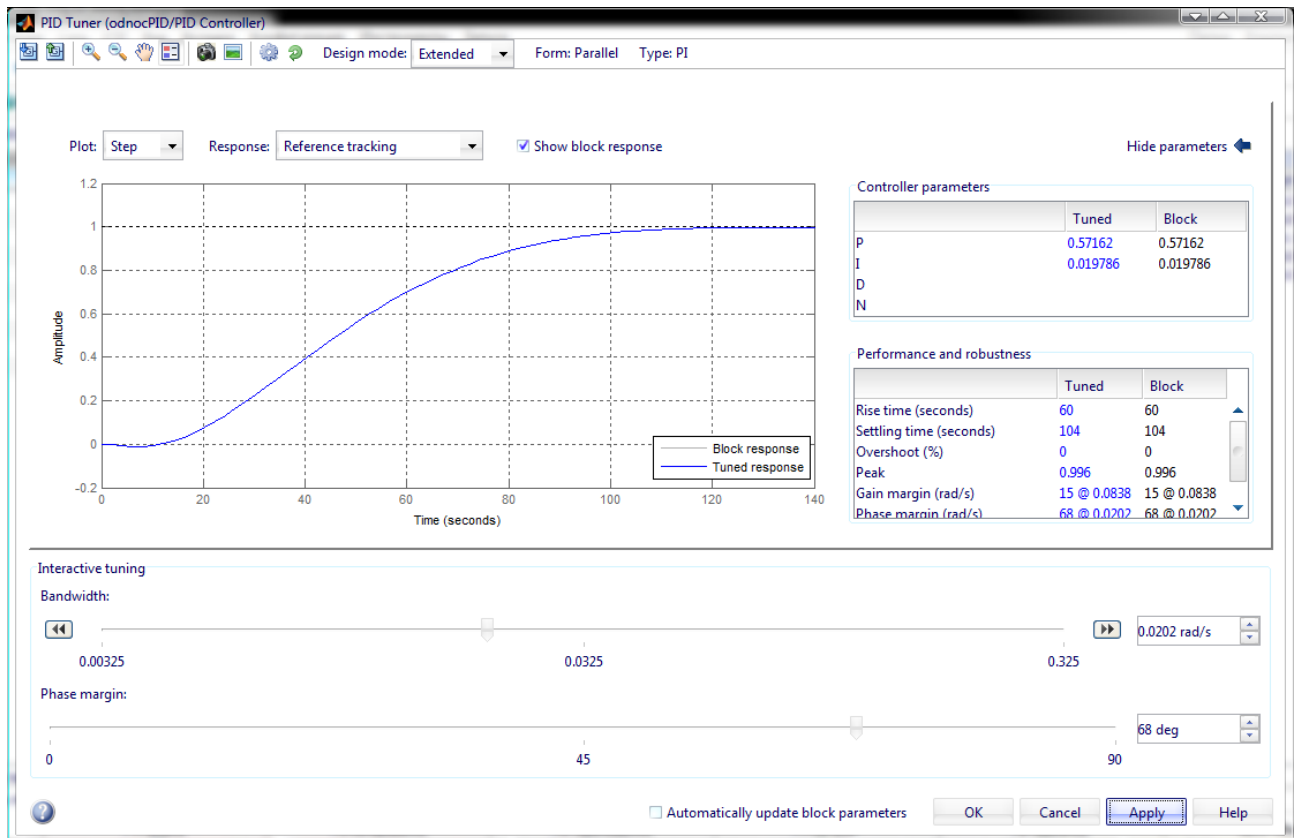
t, c	y(t)	h(t)	δ(t)
0	0,0000	0,0000	0,0000
5	0,5450	0,5590	0,0140
10	0,8000	0,8060	0,0060
15	0,9180	0,9140	0,0040
20	0,9640	0,9620	0,0020
25	0,9910	0,9830	0,0080
30	1,0000	0,9920	0,0080
35	1,0000	0,9960	0,0040

Fi	Ai	Bi	Ui	Vi
6,0933...	1,0000	1,0000	-0,1641	0,0000
	6,0933			

**Максимальна похибка DeltaMax=1,40% в точці T=5c**

$W(p) = \frac{1}{6,093p^1 + 1,000}$

# Додаток Б1





# Додаток Б3

PID Tuner (untitled2/PID Controller)

Design mode: Extended Form: Parallel Type: PI

Plot: Step Response: Reference tracking  Show block response

Controller parameters

	Tuned	Block
P	0.67057	0.67057
I	0.024697	0.024697
D		
N		

Performance and robustness

	Tuned	Block
Rise time (seconds)	52.9	52.9
Settling time (seconds)	88.4	88.4
Overshoot (%)	0	0
Peak	0.998	0.998
Gain margin (rad/s)	19.2 @ 0.152	19.2 @ 0.152

Interactive tuning

Bandwidth:

Phase margin:

Automatically update block parameters

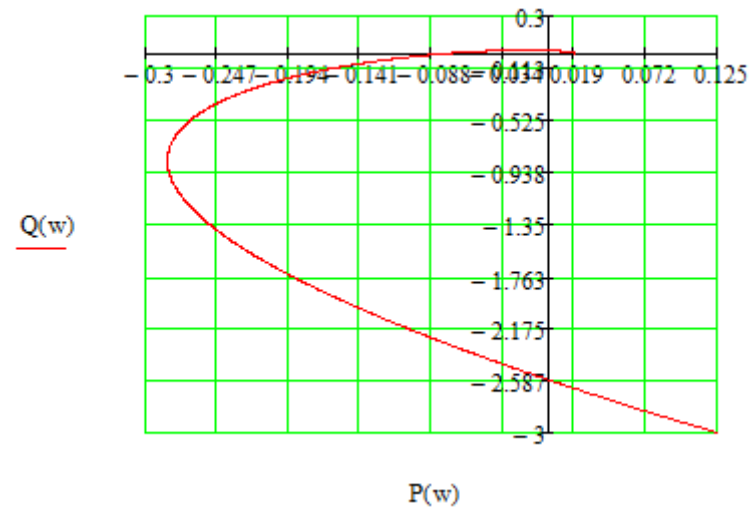
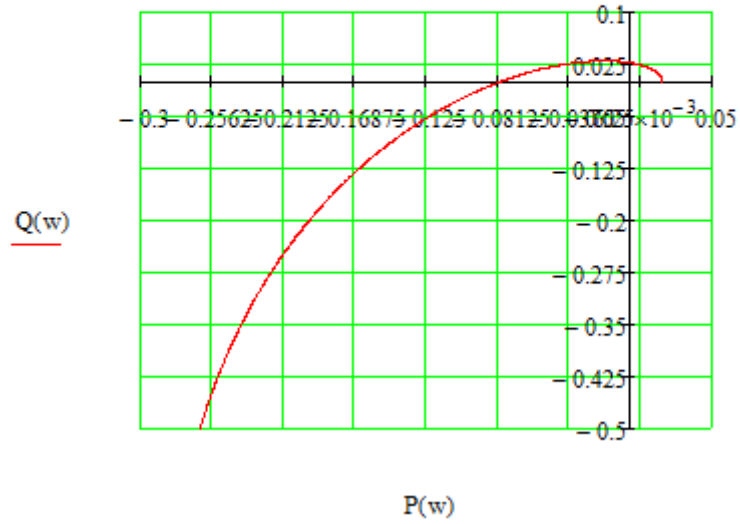
OK Cancel **Apply** Help

## Додаток В1

$$P(w) := 1201.324w^4 - 38.178 \cdot w^2 + 0.019786$$

$$Q(w) := -514.16 \cdot w^3 + 1.467 \cdot w$$

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



## Додаток В2

$$P(w) := -7319.67 \cdot w^6 + 19679.63 \cdot w^4 - 506.25 \cdot w^2 + 0.2954$$

$$Q(w) := 15424.6w^5 - 6315.33 \cdot w^3 + 20.44 \cdot w$$

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

