

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ

Група АКП-22-1

Ярослав Козаренко

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

Козаренко Ярослав Геннадійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК

681.51

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПЕРЕРОБКИ НАФТИ

(назва роботи)

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

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

О.В. Кучмистенко

(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-22-1

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

Я.Г. Козаренко

(ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.І. Фешанич

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

І.І. Чигур

(ініціали та прізвище)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 06.11.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз процесу нагрівання нафти у трубчастій печі як об'єкта керування	10.05.2026	
2.	Математичне моделювання і ідентифікація об'єкта керування	20.05.2026	
3.	Синтез та аналіз нечіткої системи керування трубчастою піччю	30.05.2026	
4.	Розробка проектної складової системи керування	07.06.2026	

Студент _____
(підпис)

Я.Г. Козаренко _____
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

І.І. Чигур _____
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 59 сторінок друкованого тексту, 18 рисунків, 8 таблиць, 12 посилань на джерела.

Тема: «Синтез системи керування процесом переробки нафти».

Об'єкт дослідження: технологічний процес нагрівання нафти у трубчастій печі установки переробки нафти.

Мета роботи: синтез нечіткої одноконтурної системи автоматичного керування процесом нагрівання нафти у трубчастій печі установки переробки нафти.

Методи дослідження: математичне моделювання об'єктів керування на основі рівнянь матеріального та енергетичного балансу; експериментальна ідентифікація за методом кривої розгону; параметричний синтез ПІ- та ПІД-регуляторів; аналіз стійкості та якості перехідних процесів; комп'ютерне моделювання у середовищі MATLAB/Simulink

Результати кваліфікаційної роботи. У роботі проаналізовано трубчасту піч як об'єкт автоматичного керування та визначено основні параметри контролю і регулювання. Розроблено математичну модель процесу нагрівання нафти та отримано передавальні функції за основними каналами впливу. Виконано синтез нечіткої одноконтурної системи керування температурою нафти на виході печі. Проведено моделювання перехідних процесів, яке показало покращення якості регулювання порівняно з класичною системою. Розроблено функціональну схему автоматизації та виконано вибір технічних засобів автоматизації на базі обладнання Emerson і Schneider Electric.

Ключові слова: Переробка нафти, трубчаста піч, автоматизація, нечіткий регулятор, Emerson, Schneider Electric.

ABSTRACT

The bachelor's thesis contains: 59 pages of printed text, 18 figures, 8 tables, and 12 references.

Topic: “Synthesis of a Control System for the Oil Refining Process”.

Object of research: the technological process of oil heating in a tubular furnace of an oil refining unit.

Aim of the work: synthesis of a fuzzy single-loop automatic control system for the oil heating process in a tubular furnace of an oil refining unit.

Research methods: mathematical modeling of control objects based on material and energy balance equations; experimental identification using the reaction curve method; parametric synthesis of PI and PID controllers; analysis of stability and quality of transient processes; computer simulation in the MATLAB/Simulink environment.

Results of the qualification work. The thesis analyzes the tubular furnace as an object of automatic control and determines the main parameters of monitoring and regulation. A mathematical model of the oil heating process was developed, and transfer functions for the main influence channels were obtained. A fuzzy single-loop control system for the oil temperature at the furnace outlet was synthesized. Simulation of transient processes was carried out, showing an improvement in control quality compared with the classical system. A functional automation diagram was developed, and technical automation equipment was selected based on Emerson and Schneider Electric devices.

Keywords: oil refining, tubular furnace, automation, fuzzy controller, Emerson, Schneider Electric.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	8
1	АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ НАГРІВАННЯ НАФТИ У ТРУБЧАСТІЙ ПЕЧІ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	11
	1.1 Загальна характеристика процесу переробки нафти	11
	1.2 Характеристика продукції, сировини та реагентів.....	12
	1.3 Аналіз технологічної схеми трубчастої печі.....	14
	1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання.....	16
	1.5 Вибір та обґрунтування параметрів контролю і регулювання.....	18
	Висновки до розділу.....	20
2	МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	22
	3.1 Загальна характеристика об'єкта моделювання.....	22
	3.2 Фізичні основи процесу нагрівання нафти	23
	3.3 Побудова математичної моделі трубчастої печі	24
	Висновки до розділу.....	29
3	СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРУБЧАСТОЮ ПІЧЧЮ.....	30
	3.1 Обґрунтування вибору нечіткої системи керування	30
	3.2 Структура нечіткого регулятора.....	31
	3.3 Вибір лінгвістичних змінних.....	33
	3.4 Формування функцій належності	34
	3.5 Розроблення бази нечітких правил	37
	3.6 Реалізація нечіткого регулятора	38
	3.7 Моделювання системи керування	40

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Синтез системи керування процесом переробки нафти	Літ.	Арк.	Акрушів
		Козаренко Я.Г.				6	58	
		Чигур І.І.						
		Фешанич Л.І.						
		Кучмистенко О.В.						
		Лагойда А.І.			Група АКП-22-1 ІФНТУНГ			

3.8 Аналіз якості керування	42
Висновки до розділу	43
4 РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ СКЛАДОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	44
5.1 Вибір технічних засобів автоматизації.....	44
5.2 Розробка функціональної схеми автоматизації	49
Висновки до розділу.....	53
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	55
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	58

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ВСТУП

Нафтопереробна промисловість є однією з провідних галузей паливно-енергетичного комплексу, оскільки забезпечує виробництво моторних палив, мастильних матеріалів, сировини для нафтохімічної промисловості та інших важливих продуктів. Ефективність роботи нафтопереробних підприємств значною мірою залежить від стабільності технологічних режимів, енергоефективності обладнання та якості автоматичного керування основними процесами.

Одним із важливих елементів установок первинної переробки нафти є трубчаста піч, призначена для нагрівання сировини до необхідної температури перед її подальшим розділенням у ректифікаційній колоні. Від стабільності температури нафти на виході з печі залежить якість подальшого технологічного процесу, повнота розділення фракцій, витрати паливного газу та надійність роботи всієї установки. Порушення температурного режиму може призвести до зниження якості нафтопродуктів, перевитрати енергоносіїв, перегріву обладнання та виникнення аварійних ситуацій.

Процес нагрівання нафти у трубчастій печі належить до складних теплотехнічних процесів. Для нього характерні значна теплова інерційність, транспортне запізнення, нелінійність характеристик і вплив зовнішніх збурень. На роботу печі впливають зміна витрати сировини, коливання температури нафти на вході, нестабільність теплотворної здатності паливного газу, зміна тиску у паливній лінії та умови процесу горіння. У таких умовах система автоматичного керування повинна забезпечувати не лише підтримання заданої температури, але й стійку роботу об'єкта при зміні технологічних параметрів.

Актуальність теми полягає у необхідності підвищення ефективності керування процесом нагрівання нафти у трубчастій печі шляхом застосування сучасних методів автоматизації. Традиційні системи регулювання, побудовані на основі класичних ПІ- або ПІД-регуляторів, не завжди забезпечують необхідну якість керування для об'єктів із запізненням і нелінійними властивостями. У зв'язку з цим перспективним напрямом є використання нечітких систем

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

керування, які дозволяють враховувати невизначеність технологічного процесу та формувати керуючу дію на основі лінгвістичних правил.

Обґрунтування вибору теми зумовлене тим, що трубчаста піч є відповідальним елементом нафтопереробної установки, а стабілізація її температурного режиму має важливе значення для забезпечення якості продукції, зменшення витрат палива та підвищення безпеки експлуатації. Використання нечіткого регулятора дозволяє покращити динамічні характеристики системи, зменшити перерегулювання, скоротити час встановлення та підвищити стійкість до дії збурень.

Метою бакалаврської роботи є синтез нечіткої одноконтурної системи автоматичного керування процесом нагрівання нафти у трубчастій печі установки переробки нафти.

Для досягнення поставленої мети у роботі передбачено провести аналіз технологічного процесу нагрівання нафти як об'єкта автоматизації, визначити основні параметри контролю та регулювання, розробити математичну модель трубчастої печі, отримати передавальні функції за основними каналами впливу, виконати синтез нечіткого регулятора, дослідити перехідні процеси системи керування та розробити проєктну складову системи автоматизації з вибором технічних засобів.

Об'єктом дослідження є технологічний процес нагрівання нафти у трубчастій печі установки переробки нафти.

Предметом дослідження є нечітка одноконтурна система автоматичного керування температурою нафти на виході трубчастої печі.

Методи дослідження. У роботі використано методи математичного моделювання, теорії автоматичного керування, нечіткої логіки та імітаційного моделювання. Для дослідження динамічних характеристик об'єкта та аналізу якості керування використано передавальні функції, структурні схеми та моделювання перехідних процесів.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів під час проєктування або модернізації систем

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматичного керування трубчастими печами нафтопереробних установок. Запропонована система дозволяє підвищити стабільність температурного режиму, покращити якість регулювання, зменшити вплив збурень і забезпечити більш ефективну роботу технологічного обладнання.

Структура то обсяг роботи. Бакалаврська робота складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків та переліку посилань на джерела. Загальний обсяг 59 сторінок.

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ НАГРІВАННЯ НАФТИ У ТРУБЧАСТІЙ ПЕЧІ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1 Загальна характеристика процесу переробки нафти

Нафтопереробна промисловість є важливою складовою паливно-енергетичного комплексу та забезпечує виробництво широкого спектра паливно-мастильних матеріалів і сировини для хімічної промисловості. Основним завданням процесів переробки нафти є розділення сирової нафти на окремі фракції та отримання продуктів із заданими фізико-хімічними характеристиками. Ефективність роботи нафтопереробних установок значною мірою залежить від стабільності технологічних режимів та якості автоматичного керування процесами.

Первинна переробка нафти передбачає нагрівання сировини до високих температур з подальшим розділенням її компонентів у ректифікаційних колонах. Одним із ключових етапів технологічного процесу є нагрівання нафти у трубчастих печах. Саме у трубчастих печах відбувається передача теплової енергії до сировини, що забезпечує необхідний температурний режим перед подачею продукту до атмосферних або вакуумних колон.

Сучасні нафтопереробні установки характеризуються високою складністю технологічних процесів, значною кількістю взаємопов'язаних параметрів та жорсткими вимогами до якості керування. Порушення температурного режиму нагрівання може призвести до зниження ефективності ректифікації, збільшення енерговитрат, погіршення якості продуктів переробки та виникнення аварійних ситуацій. Тому питання автоматизації процесу нагрівання нафти є актуальним завданням сучасної промислової автоматизації.

Спрощену технологічну схему процесу первинної переробки нафти наведено на рис. 1.1.

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змінюватися у широких межах, що суттєво впливає на параметри технологічного процесу.

Перед подачею до ректифікаційної колони нафта проходить стадію нагрівання у трубчастій печі. У процесі нагрівання забезпечується досягнення температури, необхідної для подальшого ефективного розділення фракцій. Температурний режим нагрівання визначає якість подальшої ректифікації та енергоефективність установки.

Основними параметрами, що характеризують нафту як технологічну сировину, є густина, в'язкість, фракційний склад, температура спалаху, вміст сірки та теплотворна здатність. Коливання цих параметрів впливають на процес теплообміну, швидкість нагрівання та динамічні характеристики об'єкта керування.

Основною продукцією установок первинної переробки є бензинові, гасові та дизельні фракції, газойль, мазут та паливний газ. Отримані продукти використовуються як готові енергетичні ресурси або як сировина для подальших процесів глибокої переробки.

Для забезпечення процесу горіння у трубчастій печі використовується паливо, яке може бути газоподібним або рідким. Найбільш поширеним є природний газ або паливний газ нафтопереробного виробництва. Якість палива безпосередньо впливає на стабільність температурного режиму та ефективність роботи системи автоматичного керування.

Для підтримання стабільного процесу згоряння до пальникових пристроїв подається повітря. Від співвідношення витрати палива та повітря залежить повнота згоряння, температура димових газів та коефіцієнт корисної дії печі. Крім того, у процесі експлуатації можуть використовуватися допоміжні реагенти — інгібітори корозії, деемульгатори та реагенти для очищення поверхонь теплообміну.

Основні характеристики сировини, продукції та реагентів наведено у табл. 1.1.

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Характеристика сировини, продукції та реагентів

Найменування	Основні характеристики	Призначення
Сира нафта	Густина 820–950 кг/м ³ , температура нагрівання 320–380 °С, вміст сірки до 3 %	Основна технологічна сировина
Природний газ	Висока теплотворна здатність, стабільне горіння	Паливо для трубчастої печі
Повітря	Вміст кисню близько 21 %	Забезпечення процесу горіння
Бензинова фракція	Низька температура кипіння	Компонент моторного палива
Дизельна фракція	Середня температура кипіння	Дизельне паливо
Газойль	Важка паливна фракція	Сировина для вторинної переробки
Мазут	Висока в'язкість та густина	Котельне паливо або сировина
Інгібітори корозії	Хімічно активні сполуки	Захист обладнання від корозії
Деемульгатори	Поверхнево-активні речовини	Руйнування водонафтових емульсій

Таким чином, характеристики сировини, продукції та допоміжних реагентів безпосередньо впливають на параметри технологічного процесу нагрівання нафти та визначають вимоги до системи автоматичного керування трубчастою піччю.

1.3 Аналіз технологічної схеми трубчастої печі

Трубчасті печі є одним із основних елементів технологічних установок нафтопереробної промисловості. Їх призначення полягає у нагріванні нафти або нафтопродуктів до температури, необхідної для подальшого проходження технологічного процесу. Нагрівання здійснюється за рахунок теплової енергії, що утворюється під час спалювання газоподібного або рідкого палива у камері згоряння печі.

Типову конструкцію трубчастої печі показано на рис. 1.2.

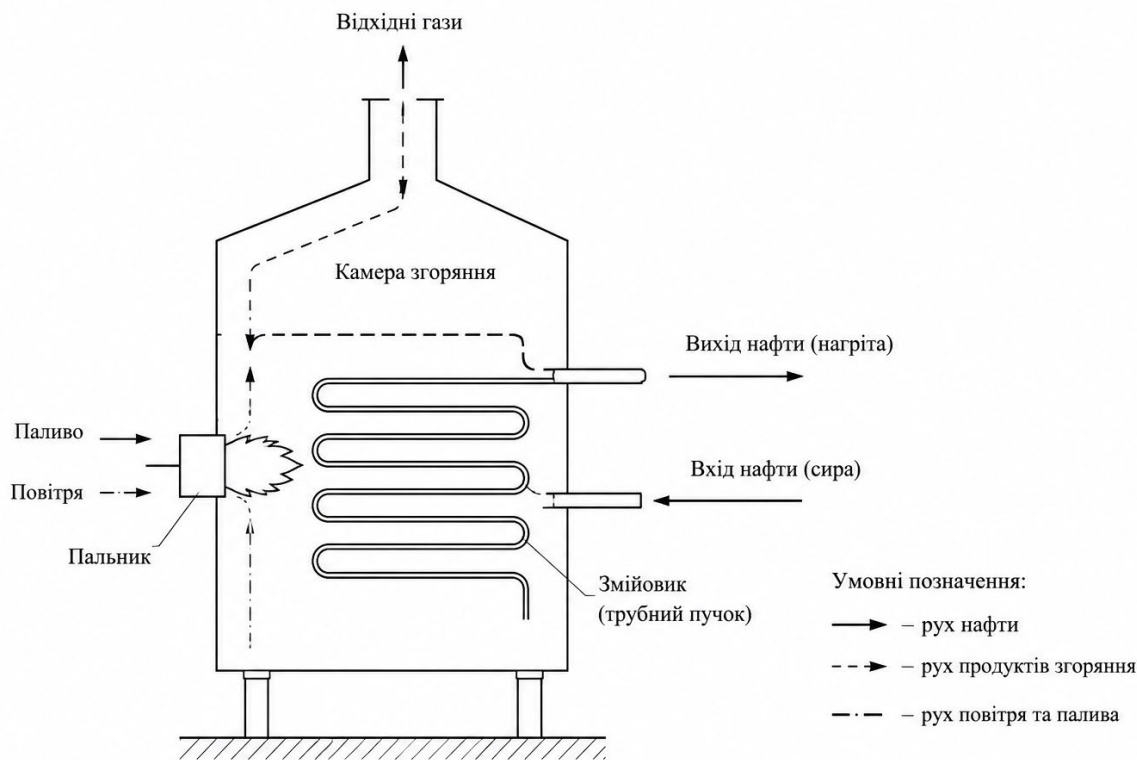


Рисунок 1.2 – Типова конструкція трубчатої печі

Конструктивно трубчаста піч складається з камери радіації, конвективної частини, системи трубопроводів, палиникових пристроїв та допоміжного обладнання. Усередині трубчастих змійовиків переміщується нафта, яка нагрівається за рахунок теплового випромінювання та конвективного теплообміну. Для забезпечення необхідного температурного режиму застосовуються системи автоматичного регулювання подачі палива та повітря.

Трубчасті печі характеризуються значною тепловою інерційністю, що обумовлено великою масою конструктивних елементів та тривалістю процесів теплообміну. Крім того, об'єкт має нелінійні характеристики, оскільки коефіцієнти теплопередачі та інтенсивність горіння залежать від режиму роботи печі. Це ускладнює процес побудови ефективної системи автоматичного керування.

Основними параметрами, що характеризують роботу трубчатої печі, є температура нафти на виході зі змійовика, витрата палива, витрата повітря,

температура димових газів та тиск у системі. Найбільш важливим параметром регулювання є температура нагрітої нафти, оскільки саме вона визначає ефективність подальших технологічних процесів.

Як об'єкт автоматизації трубчаста піч має ряд особливостей: значну інерційність; наявність транспортного запізнення; нелінійність характеристик; залежність параметрів від режиму роботи; вплив численних зовнішніх збурень.

Усе це зумовлює необхідність використання сучасних методів автоматичного керування, здатних забезпечити стабільність температурного режиму за різних умов експлуатації.

1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання

Основним технологічним обладнанням установки первинної переробки нафти є трубчаста піч, яка призначена для нагрівання сирової нафти до температури, необхідної для подальшого процесу ректифікації. Трубчасті печі належать до теплотехнічних агрегатів безперервної дії та забезпечують передачу теплової енергії від продуктів згоряння палива до нафти, що рухається через трубчасті змійовики.

До складу трубчастої печі входять камера згоряння, пальникові пристрої, трубчасті змійовики, конвективна та радіаційна зони, димова труба, система подачі палива та повітря, а також контрольно-вимірювальні прилади й засоби автоматизації. Нагрівання нафти здійснюється у змійовиках, які розміщені у зоні дії теплового випромінювання та гарячих димових газів.

У процесі роботи трубчастої печі важливе значення має стабільність температурного режиму, яка забезпечується системою автоматичного керування подачею палива. Для контролю параметрів процесу використовуються датчики температури, тиску та витрати. Регулювання витрати палива здійснюється за допомогою виконавчих механізмів та регулюючих клапанів.

Крім трубчастої печі, до складу технологічного обладнання установки входять теплообмінники, насоси, ректифікаційні колони, холодильники та

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

трубопровідна арматура. Теплообмінники використовуються для попереднього підігріву нафти та утилізації теплової енергії технологічних потоків. Насосне обладнання забезпечує транспортування нафти та нафтопродуктів між окремими вузлами установки.

Одним із важливих елементів системи автоматизації є датчики температури, які забезпечують безперервний контроль температурного режиму печі. Для вимірювання температури найчастіше використовуються термоперетворювачі опору типу Pt100 або термопари. Сигнали від датчиків надходять до програмованого логічного контролера, який виконує обробку інформації та формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів.

Технічні характеристики основного технологічного обладнання наведено у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічна характеристика технологічного обладнання

Найменування обладнання	Основні технічні характеристики	Призначення
Трубчаста піч	Температура нагрівання 320–380 °С, теплова потужність 5–15 МВт	Нагрівання сирової нафти
Трубчастий змійовик	Робочий тиск до 2,5 МПа, жаростійка сталь	Передача тепла нафті
Пальниковий пристрій	Газове або комбіноване паливо	Створення теплової енергії
Теплообмінник	Температура до 250 °С	Попередній підігрів сировини
Насос подачі нафти	Продуктивність 50–300 м ³ /год	Транспортування нафти
Регулюючий клапан	Діаметр 25–100 мм, електропривід	Регулювання подачі палива

Ефективність роботи трубчастої печі значною мірою залежить від технічного стану обладнання та правильності вибору засобів автоматизації. Використання сучасних технічних засобів дозволяє забезпечити стабільність температурного режиму, підвищити енергоефективність установки та покращити якість автоматичного керування технологічним процесом.

1.5 Вибір та обґрунтування параметрів контролю і регулювання

Ефективність роботи системи автоматичного керування трубчастою піччю значною мірою залежить від правильного вибору параметрів контролю та регулювання. Вибрані параметри повинні найбільш повно характеризувати стан технологічного процесу, забезпечувати стабільність режиму роботи обладнання та дозволяти своєчасно реагувати на зміну умов експлуатації.

Основним завданням системи автоматичного керування трубчастою піччю є забезпечення стабільної температури нагрівання нафти на виході зі змійовика. Температура на виході печі безпосередньо впливає на ефективність подальшого процесу ректифікації, якість отриманих нафтопродуктів та енергетичні показники установки. Недостатній рівень температури призводить до погіршення умов розділення фракцій, тоді як надмірне нагрівання може спричиняти перегрів нафти, інтенсивне утворення коксових відкладень та пошкодження обладнання.

З огляду на це основним регульованим параметром у даній роботі обрано температуру нафти на виході трубчастої печі. Для підтримання заданого температурного режиму використовується система автоматичного регулювання витрати палива, що подається до пальникових пристроїв.

Керуючим параметром є витрата паливного газу, оскільки саме зміна подачі палива дозволяє оперативно впливати на інтенсивність тепловиділення у камері згоряння та забезпечувати необхідний температурний режим печі. Регулювання витрати палива здійснюється за допомогою регулюючого клапана з електроприводом.

Для забезпечення безпечної та ефективної роботи трубчастої печі необхідно також контролювати ряд допоміжних технологічних параметрів. До них належать температура димових газів, тиск палива, витрата повітря, тиск у змійовику та витрата нафти. Контроль зазначених параметрів дозволяє оцінювати технічний стан обладнання, ефективність процесу згоряння та своєчасно виявляти відхилення технологічного режиму.

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Температура димових газів характеризує ефективність використання теплової енергії та дозволяє оцінити коефіцієнт корисної дії печі. Підвищення температури димових газів свідчить про збільшення теплових втрат та погіршення режиму теплообміну.

Контроль витрати повітря є необхідним для забезпечення повного згоряння палива. Недостатня подача повітря призводить до неповного згоряння та утворення шкідливих продуктів згоряння, а надлишок повітря спричиняє зниження температури у камері згоряння та збільшення теплових втрат.

Основні параметри контролю та регулювання наведено у табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Параметри контролю та регулювання трубчастої печі

Параметр	Призначення	Тип приладу	Характер дії
Температура нафти на виході печі	Основний регульований параметр	Термоперетворювач Pt100	Регулювання
Витрата паливного газу	Керуючий параметр	Витратомір	Регулювання
Температура димових газів	Контроль теплових втрат	Термопара	Контроль
Витрата повітря	Контроль процесу горіння	Витратомір	Контроль
Тиск паливного газу	Контроль режиму подачі палива	Датчик тиску	Контроль
Тиск у змійовику	Забезпечення безпечної роботи	Датчик тиску	Контроль
Витрата нафти	Контроль навантаження печі	Витратомір	Контроль
Температура нафти на вході	Оцінка теплового режиму	Термоперетворювач	Контроль

Важливим параметром є також тиск у трубчастому змійовику, оскільки його перевищення може призвести до аварійної ситуації або пошкодження обладнання. Контроль тиску дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію печі та своєчасно виявляти порушення режиму роботи.

Для реалізації системи автоматичного керування використовуються сучасні контрольні-вимірювальні прилади та технічні засоби автоматизації. Вимірювання температури здійснюється за допомогою термоперетворювачів опору або термопар, контроль витрати — за допомогою витратомірів, а вимірювання тиску — за допомогою датчиків тиску.

Таким чином, вибір параметрів контролю та регулювання здійснювався з урахуванням особливостей технологічного процесу нагрівання нафти у трубчастій печі. Обрані параметри забезпечують можливість підтримання стабільного температурного режиму, підвищення енергоефективності процесу та безпечної експлуатації технологічного обладнання.

Висновки до розділу

У першому розділі бакалаврської роботи проведено аналіз процесу нагрівання нафти у трубчастій печі як об'єкта автоматичного керування. Розглянуто особливості процесу первинної переробки нафти та визначено роль трубчастих печей у забезпеченні необхідного температурного режиму перед подачею сировини до ректифікаційної колони.

Встановлено, що трубчаста піч є складним теплотехнічним об'єктом, для якого характерні значна інерційність, нелінійність характеристик та наявність численних зовнішніх збурень. Основним параметром, який визначає ефективність роботи печі, є температура нафти на виході зі змійовика. Від стабільності цього параметра залежать якість подальшого процесу переробки, енергетичні показники установки та надійність роботи технологічного обладнання.

У розділі проаналізовано основні характеристики сировини, продукції та допоміжних реагентів, які використовуються у процесі нагрівання нафти. Визначено, що зміна фізико-хімічних властивостей нафти, параметрів паливного газу та умов процесу горіння безпосередньо впливає на динаміку технологічного процесу та якість автоматичного регулювання.

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведено аналіз технічних характеристик основного технологічного обладнання установки. Розглянуто конструкцію трубчастої печі, принцип її роботи та основні елементи системи автоматизації. Визначено, що для забезпечення стабільного режиму роботи необхідно здійснювати безперервний контроль температури, витрати палива, тиску та інших технологічних параметрів.

У результаті виконаного аналізу обґрунтовано вибір параметрів контролю та регулювання. Основним регульованим параметром обрано температуру нафти на виході трубчастої печі, а керуючим впливом — витрату паливного газу. Такий підхід дозволяє забезпечити ефективне керування тепловим режимом печі та стабілізувати роботу технологічного процесу.

Отримані результати аналізу дозволяють зробити висновок про необхідність розроблення сучасної системи автоматичного керування трубчастою піччю, здатної забезпечити високу якість регулювання в умовах зміни технологічних параметрів та дії зовнішніх збурень. На основі проведених досліджень у наступному розділі буде виконано математичне моделювання об'єкта керування та розроблено структуру системи автоматичного керування.

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КЕРОВАНОГО ОБ'ЄКТА

2.1 Загальна характеристика об'єкта моделювання

Одним із найважливіших етапів синтезу системи автоматичного керування є математичне моделювання технологічного об'єкта. Побудова математичної моделі дозволяє дослідити динамічні властивості трубчастої печі, оцінити вплив зовнішніх збурень та отримати передавальні функції для подальшого синтезу системи керування.

У даній роботі об'єктом моделювання є трубчаста піч установки первинної переробки нафти. Основним регульованим параметром є температура нафти на виході зі змійовика печі, а керуючим впливом — витрата паливного газу, що подається до пальникових пристроїв.

Трубчаста піч належить до складних теплотехнічних об'єктів із вираженими динамічними властивостями. Для неї характерні значна теплова інерційність, транспортне запізнення, нелінійність характеристик та залежність параметрів від режиму роботи. Наявність значної теплової інерційності пояснюється великим об'ємом нагрітої сировини, значною масою металоконструкцій печі та складністю процесів теплообміну між продуктами згоряння та нафтою.

Особливістю трубчастої печі як об'єкта керування є також наявність багатьох взаємопов'язаних параметрів. Зміна витрати паливного газу впливає на температуру в камері згоряння, температуру димових газів та температуру нафти на виході. Одночасно на процес впливають витрата нафти, температура сировини на вході та умови процесу горіння.

На температурний режим печі впливають витрата паливного газу, витрата нафти, температура сировини на вході, теплотворна здатність палива та подача повітря до пальникових пристроїв. Усі ці фактори можуть змінюватися під час роботи установки та спричиняти відхилення температури від заданого значення.

Для спрощення математичного опису приймаються такі припущення: теплофізичні параметри нафти в межах робочого діапазону є сталими; теплообмін

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у печі є рівномірним; теплові втрати в навколишнє середовище незначні; параметри системи є зосередженими; процес розглядається поблизу робочої точки.

Прийняті припущення дозволяють отримати математичну модель, достатню для аналізу динамічних характеристик трубчастої печі та синтезу системи автоматичного керування.

2.2 Фізичні основи процесу нагрівання нафти

Процес нагрівання нафти у трубчастій печі базується на передачі теплової енергії від продуктів згоряння паливного газу до сировини, яка рухається через трубчасті змійовики. Передача теплоти здійснюється переважно шляхом теплового випромінювання та конвективного теплообміну.

У камері згоряння печі відбувається спалювання паливного газу з утворенням високотемпературних димових газів. Температура у зоні горіння може досягати 1000–1400 °С. Теплова енергія від продуктів згоряння передається поверхням трубчастого змійовика, через який проходить нафта.

Основним видом теплообміну у радіаційній зоні печі є теплове випромінювання. У конвективній зоні передача теплоти здійснюється переважно за рахунок конвекції гарячих димових газів.

Ефективність процесу нагрівання залежить від:

температури продуктів згоряння;

витрати палива;

швидкості руху нафти;

коефіцієнта теплопередачі;

площі поверхні теплообміну;

температури нафти на вході.

Зі збільшенням витрати паливного газу підвищується температура у камері згоряння, що призводить до збільшення температури нафти на виході зі

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змійовика. Однак через значну теплову інерційність реакція системи на зміну подачі палива відбувається із запізненням.

Процес нагрівання характеризується складними нелінійними залежностями. Коефіцієнти теплопередачі змінюються залежно від температури, витрати нафти та режиму горіння. Це ускладнює побудову точної математичної моделі та обґрунтовує доцільність використання інтелектуальних методів керування.

2.3 Побудова математичної моделі трубчастої печі

Для математичного моделювання процесу нагрівання нафти у трубчастій печі приймаємо такі початкові дані: витрата нафти становить ($G_n = 20$) кг/с, питома теплоємність нафти ($c = 2.2$) кДж/(кг·К), температура нафти на вході до печі ($T_{in} = 220$) °С, температура нафти на виході з печі ($T_{out} = 350$) °С. Витрата паливного газу у номінальному режимі приймається ($G_f = 0.15$) кг/с, теплота згоряння паливного газу ($q = 50000$) кДж/кг.

Математична модель трубчастої печі базується на рівнянні теплового балансу, яке описує співвідношення між кількістю теплоти, що надходить до об'єкта, та кількістю теплоти, яка передається нафті.

Рівняння теплового балансу має вигляд:

$$Q_p = Q_n + Q_v, \quad (2.1)$$

де

Q_p — теплота, що виділяється під час спалювання палива;

Q_n — теплота, передана нафті;

Q_v — теплові втрати.

Кількість теплоти, яка передається нафті, визначається залежністю:

$$Q_n = G_n \cdot c \cdot (T_{out} - T_{in}), \quad (2.2)$$

де

G_n — витрата нафти;

c — питома теплоємність нафти;

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

T_{out} — температура нафти на виході печі;

T_{in} — температура нафти на вході печі.

Теплова потужність, яка утворюється під час спалювання паливного газу, визначається виразом:

$$Q_p = G_f q, \quad (2.2)$$

де

G_f — витрата паливного газу;

q — теплота згоряння палива.

Після підстановки числових значень отримаємо:

$$Q_p = 0.15 \cdot 50000 = 7500 \text{ (кДж / с)}$$

Теплові втрати трубчастої печі визначаються з рівняння теплового балансу:

$$Q_v = Q_p - Q_n, \quad (2.3)$$

$$Q_v = 7500 - 5720 = 1780 \text{ кДж/с.}$$

Коефіцієнт корисної дії печі можна визначити за залежністю:

$$\eta = \frac{Q_n}{Q_p}, \quad (2.4)$$

Після підстановки числових значень:

$$\eta = \frac{5720}{7500} = 0.76$$

Отримане значення коефіцієнта корисної дії відповідає роботі трубчастої печі в реальних промислових умовах з урахуванням теплових втрат через димові гази, футерування та навколишнє середовище.

Для опису динаміки трубчастої печі використовується модель аперіодичної ланки першого порядку із транспортним запізненням. У відхиленнях від номінального режиму рівняння об'єкта має вигляд:

$$T_1 \cdot \frac{d\Delta T(t)}{dt} + \Delta T(t) = K_1 \cdot \Delta G_f(t - \tau), \quad (2.5)$$

де (T_1) — стала часу об'єкта; (K_1) — коефіцієнт передачі за каналом керування; τ - транспортне запізнення.

Для подальшого моделювання приймаємо:

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_1 = 240 \text{ с}, \tau = 30 \text{ с}.$$

Тоді диференціальне рівняння об'єкта за каналом керування набуде вигляду:

$$240 \cdot \frac{d\Delta T(t)}{dt} + \Delta T(t) = 500 \cdot \Delta G_f(t - 30). \quad (2.6)$$

Після перетворення за Лапласом отримаємо:

$$(240p + 1) \cdot \Delta T(p) = 500 \cdot \Delta G_f(p) \cdot e^{-30p}. \quad (2.7)$$

Передавальна функція трубчастої печі за каналом «витрата паливного газу - температура нафти на виході» має вигляд:

$$W_1(p) = \frac{\Delta T(p)}{\Delta G_f(p)} = \frac{500 \cdot e^{-30p}}{240p + 1}. \quad (2.8)$$

Таким чином, основна передавальна функція керованого об'єкта становить:

$$W_1(p) = \frac{500 \cdot e^{-30p}}{240p + 1}. \quad (2.9)$$

Ця передавальна функція показує, що збільшення витрати паливного газу на 0.01 кг/с призводить до зростання температури нафти приблизно на 5 °С в усталеному режимі.

Для опису впливу збурення, пов'язаного зі зміною витрати нафти, приймаємо, що збільшення витрати сировини призводить до зменшення температури на виході печі. Передавальна функція за каналом «витрата нафти — температура нафти на виході» має вигляд:

$$W_2(p) = \frac{\Delta T(p)}{\Delta G_n(p)} = \frac{K_2}{T_2 p + 1}. \quad (2.10)$$

Для даного каналу приймаємо:

$$T_2 = 300 \text{ с}$$

Тоді передавальна функція за каналом збурення витрати нафти буде:

$$W_2(p) = \frac{-2.5}{300p + 1}. \quad (2.11)$$

Знак «мінус» у чисельнику означає, що збільшення витрати нафти через змійовик печі знижує температуру продукту на виході, оскільки зростає кількість сировини, яку необхідно нагріти.

Для врахування впливу температури нафти на вході до печі використовується передавальна функція за каналом «температура нафти на вході — температура нафти на виході»:

$$W_3(p) = \frac{\Delta T_{out}(p)}{\Delta T_{in}(p)} = \frac{K_3}{T_3 p + 1}, \quad (2.12)$$

Для даного каналу приймаємо:

$$K_3 = 0.65, T_3 = 180 \text{ с.}$$

Тоді передавальна функція матиме вигляд:

$$W_3(p) = \frac{0.65}{180p + 1}. \quad (2.13)$$

Отримана передавальна функція показує, що зміна температури нафти на вході частково передається на вихідну температуру, однак через інерційність процесу цей вплив проявляється із певним запізненням у часі (рис. 2.1).

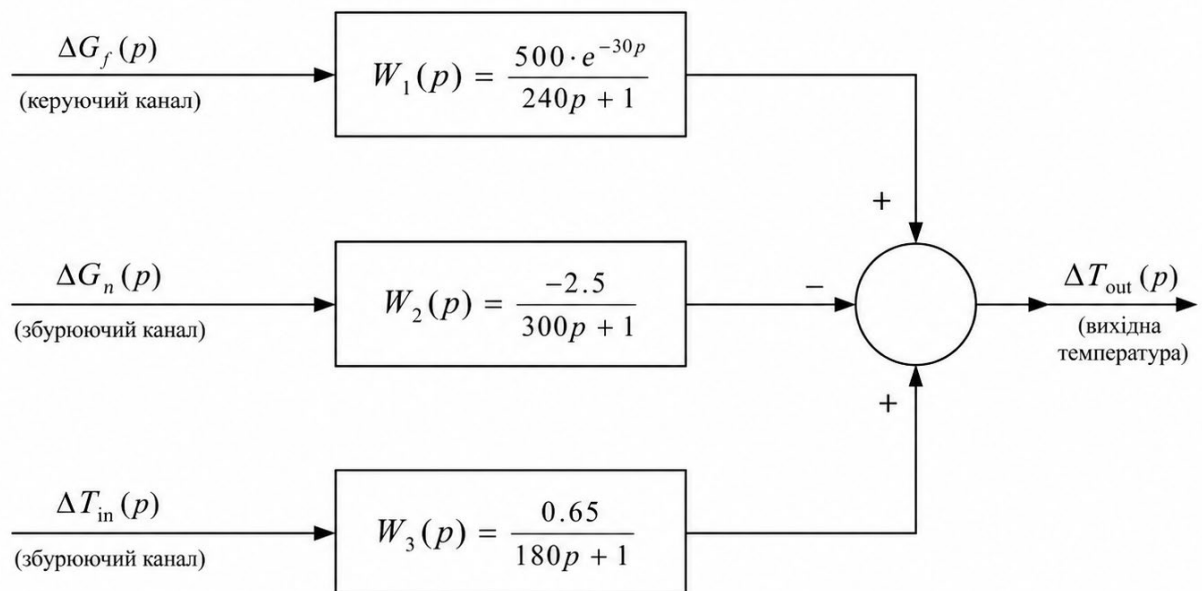


Рисунок 2.1 – Вплив керуючого сигналу і збурень на керований параметр

Для врахування роботи датчика температури приймаємо, що він може бути описаний аперіодичною ланкою першого порядку:

$$W_d(p) = \frac{K_d}{T_d p + 1}. \quad (2.14)$$

Оскільки датчик температури виконує тільки вимірювання параметра, приймаємо:

$$K_d = 1, T_d = 5 \text{ с.}$$

Тоді передавальна функція датчика температури:

$$W_d(p) = \frac{1}{5p + 1}. \quad (2.15)$$

Для виконавчого механізму регулюючого клапана подачі палива приймаємо передавальну функцію:

$$W_v(p) = \frac{K_v}{T_v p + 1}. \quad (2.16)$$

Приймаємо:

$$K_v = 0.01, T_v = 8 \text{ с,}$$

Тоді:

$$W_v(p) = \frac{0.01}{8p + 1}. \quad (2.17)$$

Коефіцієнт ($K_v = 0.01$) означає, що зміна керуючого сигналу на 1 % відповідає зміні витрати паливного газу на 0.01 кг/с.

Загальна передавальна функція об'єкта з урахуванням виконавчого механізму, трубчастої печі та датчика температури визначається як добуток відповідних передавальних функцій:

$$W_o(p) = W_v(p) \cdot W_1(p) \cdot W_d(p). \quad (2.18)$$

Після підстановки числових значень:

$$W_o(p) = \frac{0.01}{8p + 1} \cdot \frac{500 \cdot e^{-30p}}{240p + 1} \cdot \frac{1}{5p + 1}.$$

Після спрощення:

$$W_o(p) = \frac{5 \cdot e^{-30p}}{(8p + 1)(240p + 1)(5p + 1)}. \quad (2.19)$$

Отже, для подальшого синтезу системи автоматичного керування можна використати передавальну функцію керованого об'єкта (2.19):

Для спрощеного моделювання, коли динамікою датчика та виконавчого механізму можна знехтувати, використовується передавальна функція самої трубчастої печі:

$$W_1(p) = \frac{500 \cdot e^{-30p}}{240p + 1}. \quad (2.20)$$

Отримані передавальні функції є основою для подальшого моделювання перехідних процесів, синтезу нечіткого регулятора та порівняння якості керування з класичною системою автоматичного регулювання.

Висновки до розділу

У даному розділі проведено математичне моделювання трубчастої печі як об'єкта автоматичного керування. На основі рівняння теплового балансу побудовано математичну модель процесу нагрівання нафти та отримано передавальні функції за каналом керування і каналами збурення.

Встановлено, що трубчаста піч є інерційним об'єктом із транспортним запізненням, що суттєво впливає на динамічні характеристики системи автоматичного керування.

Отримані передавальні функції можуть бути використані для подальшого синтезу нечіткої системи автоматичного керування, моделювання перехідних процесів та аналізу показників якості регулювання.

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРУБЧАСТОЮ ПІЧЧЮ

3.1 Обґрунтування вибору нечіткої системи керування

Процес нагрівання нафти у трубчастій печі є складним теплотехнічним процесом, який характеризується значною інерційністю, транспортним запізненням, нелінійністю та впливом зовнішніх збурень. До основних факторів, що ускладнюють процес автоматичного керування, належать зміна витрати сировини, коливання температури нафти на вході до печі, нестабільність теплотворної здатності паливного газу та зміна умов процесу горіння.

Класичні системи автоматичного регулювання, які базуються на використанні ПІ- або ПІД-регуляторів, широко застосовуються у промисловості завдяки простоті реалізації та зручності налаштування. Однак для об'єктів із нелінійними характеристиками та змінними параметрами такі регулятори не завжди забезпечують необхідну якість перехідного процесу. Зокрема, при зміні режиму роботи печі може збільшуватися час регулювання, виникати перерегулювання або статична похибка.

У зв'язку з цим для керування температурою нафти на виході трубчастої печі доцільно застосувати нечіткий регулятор. Нечітке керування дозволяє формалізувати досвід оператора-технолога у вигляді системи правил типу «ЯКЩО – ТО» та забезпечити ефективне керування навіть за умов неповної або неточної інформації про об'єкт.

Основна ідея нечіткого керування полягає у тому, що замість точного математичного опису всіх фізичних процесів використовується набір лінгвістичних правил, які описують поведінку системи у різних режимах. Такий підхід є доцільним для трубчастої печі, оскільки її динамічні властивості можуть змінюватися залежно від навантаження, складу сировини та параметрів палива.

У даній роботі нечіткий регулятор використовується в одноконтурній системі автоматичного керування температурою нафти на виході трубчастої печі.

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

визначає реакцію системи відповідно до заданої бази правил. Блок дефазифікації перетворює нечіткий результат у чітке значення керуючого сигналу.

У даній роботі як вхідні змінні нечіткого регулятора обрано похибку регулювання та зміну похибки. Вихідною змінною є зміна керуючого сигналу, який впливає на положення регулюючого клапана подачі паливного газу.

Похибка регулювання визначається як різниця між заданим значенням температури та поточним вимірним значенням:

$$e(t) = T_s(t) - T_{out}(t). \quad (3.1)$$

де

$e(t)$ - похибка регулювання;

$T_s(t)$ — задане значення температури;

$T_{out}(t)$ — поточна температура нафти на виході печі.

Зміна похибки визначається як різниця між поточним і попереднім значенням похибки:

$$d_e(t) = e(t) - e(t - 1), \quad (3.2)$$

де

$d_e(t)$ — зміна похибки регулювання.

Структуру нечіткого регулятора наведено на рис. 3.2.

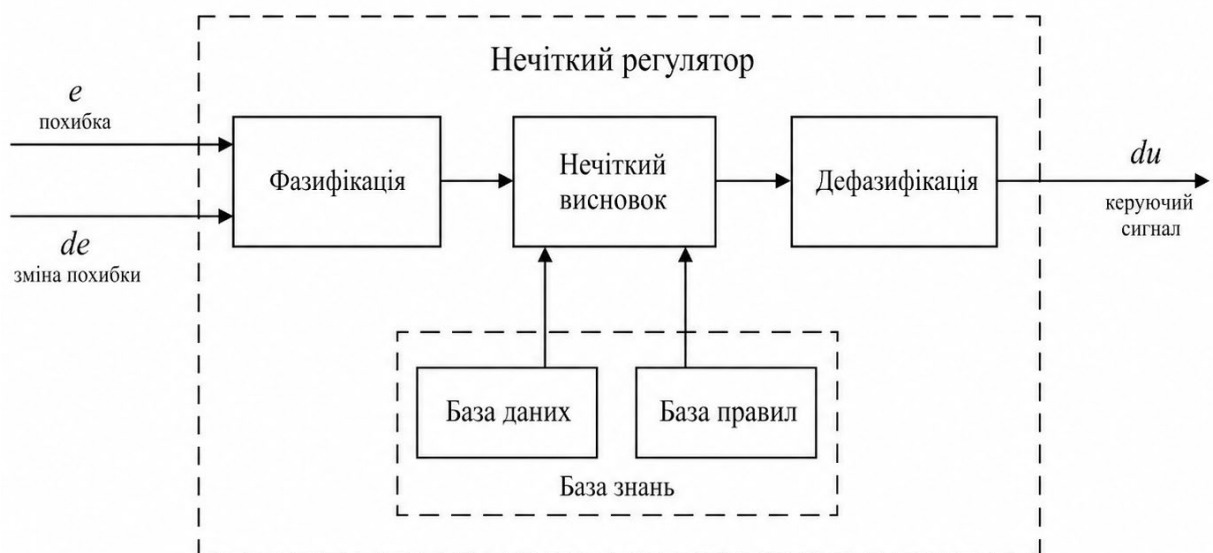


Рисунок 3.2 – Структура нечіткого регулятора температури трубчастої печі

Вихідний сигнал нечіткого регулятора визначає зміну керуючого впливу:

$$d_u(t) = f(e(t), d_e(t)), \quad (3.3)$$

де

$d_u(t)$ — зміна керуючого сигналу;

$f(e(t), d_e(t))$ — нелінійна залежність, сформована на основі бази нечітких правил.

На рис. 3.2 потрібно показати послідовність блоків: фазифікація, база правил, механізм нечіткого висновку, дефазифікація.

3.3 Вибір лінгвістичних змінних

Для побудови нечіткого регулятора необхідно визначити лінгвістичні змінні, які описують вхідні та вихідні параметри системи. У даній роботі використовуються дві вхідні лінгвістичні змінні та одна вихідна.

Першою вхідною змінною є похибка регулювання e , яка характеризує відхилення температури нафти на виході печі від заданого значення. Якщо похибка додатна, це означає, що фактична температура нижча за задану, тому подачу палива необхідно збільшити. Якщо похибка від'ємна, фактична температура перевищує задану, тому подачу палива необхідно зменшити.

Другою вхідною змінною є зміна похибки d_e , яка характеризує напрям і швидкість зміни температурного відхилення. Цей параметр дозволяє врахувати динаміку процесу та запобігти надмірному перерегулюванню.

Вихідною змінною є зміна керуючого сигналу d_u , яка визначає необхідну зміну положення регулюючого клапана подачі паливного газу (табл. 3.1).

Для опису лінгвістичних змінних використовуються такі терми: NB — велике від'ємне значення, NM — середнє від'ємне значення, NS — мале від'ємне значення, Z — нульове значення, PS — мале додатне значення, PM — середнє додатне значення, PB — велике додатне значення.

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Лінгвістичні змінні нечіткого регулятора

Позначення	Назва терму	Фізичний зміст
NB	Negative Big	велике від'ємне значення
NM	Negative Medium	середнє від'ємне значення
NS	Negative Small	мале від'ємне значення
Z	Zero	нульове значення
PS	Positive Small	мале додатне значення
PM	Positive Medium	середнє додатне значення
PB	Positive Big	велике додатне значення

Для похибки регулювання приймається діапазон:

$$e = [-30; 30] \text{ } ^\circ\text{C}$$

Для зміни похибки приймається діапазон:

$$de = [-10; 10] \text{ } ^\circ\text{C}$$

Для вихідного сигналу нечіткого регулятора приймається діапазон:

$$du = [-20; 20] \%$$

Ці діапазони вибрано з урахуванням можливих відхилень температури у процесі роботи трубчастої печі та допустимого діапазону зміни положення регулюючого клапана.

3.4 Формування функцій належності

Функції належності визначають ступінь належності конкретного значення вхідної або вихідної змінної до певного лінгвістичного терму. У нечітких системах керування найчастіше використовують трикутні, трапецієподібні та гаусівські функції належності.

У даній роботі для побудови нечіткого регулятора використано трикутні функції належності, оскільки вони мають просту форму, легко реалізуються у програмному середовищі MATLAB Fuzzy Logic Toolbox та забезпечують достатню точність для інженерних розрахунків.

Функцію належності для трикутного терму можна записати у вигляді:

$$\mu(x) = \max(\min((x - a)/(b - a), (c - x)/(c - b)), 0), \quad (3.4)$$

де

$\mu(x)$ — ступінь належності значення x до нечіткої множини;
 a, b, c — параметри трикутної функції належності.

Для вхідної змінної e приймаються сім термів у діапазоні від -30 °C до 30 °C. Функції належності для похибки регулювання наведено на рис 3.3.

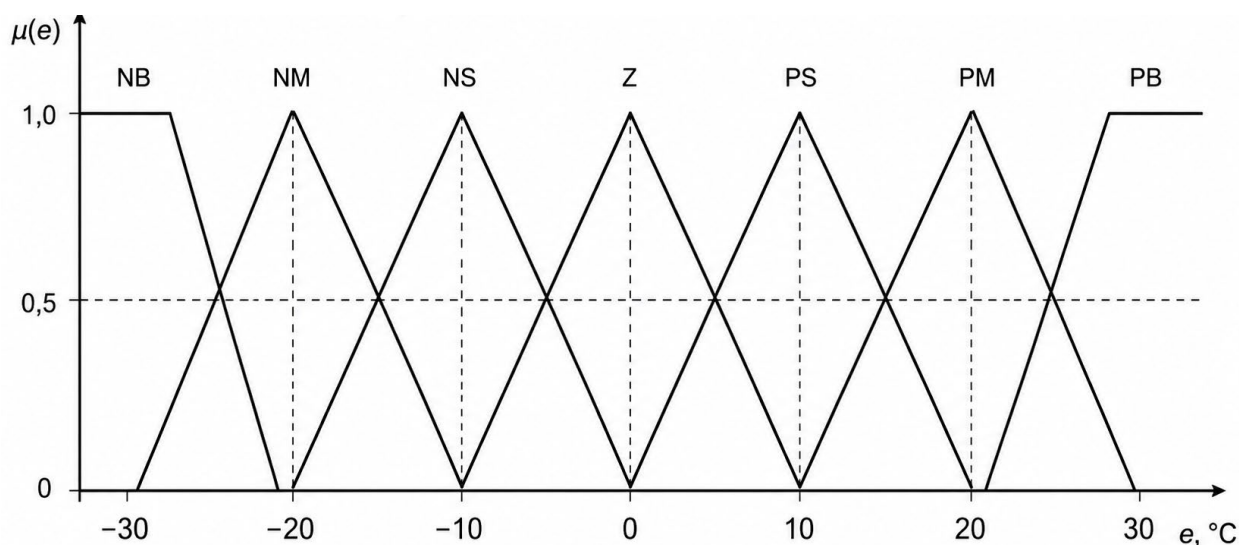


Рисунок 3.3 – Функції належності вхідної змінної e

Для змінної de приймаються сім термів у діапазоні від -10 °C до 10 °C. Функції належності для зміни похибки наведено на рис. 3.4.

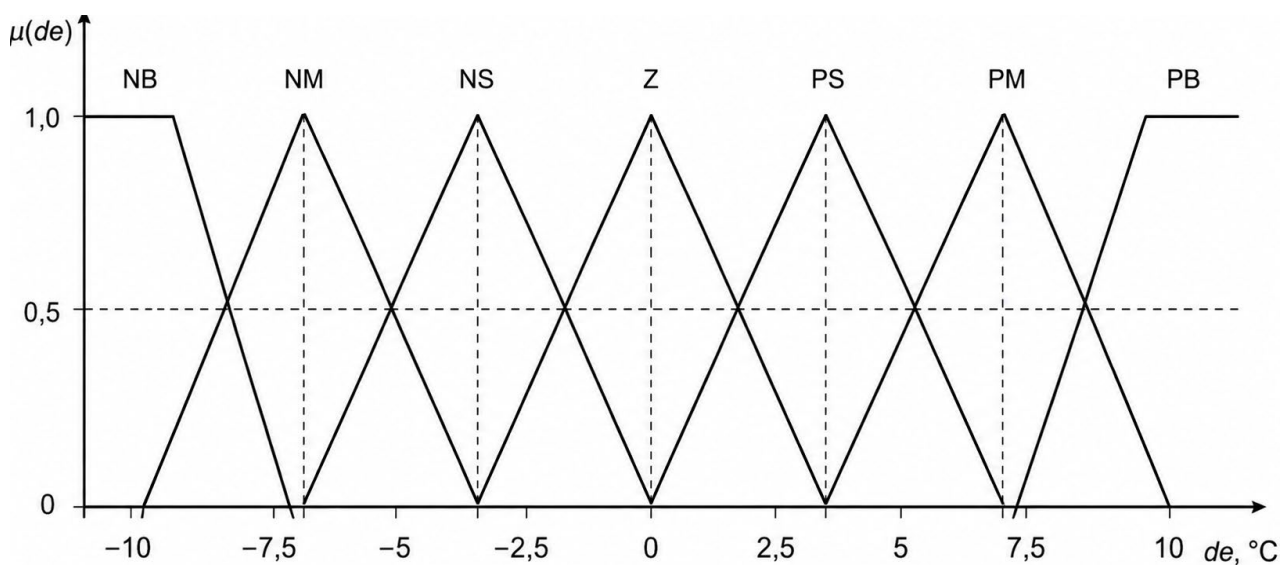


Рисунок 3.4 – Функції належності вхідної змінної de

Для вихідної змінної du також використовуються сім термів у діапазоні від -20 % до 20 %. Функції належності вихідної змінної наведено на рис. 3.5.

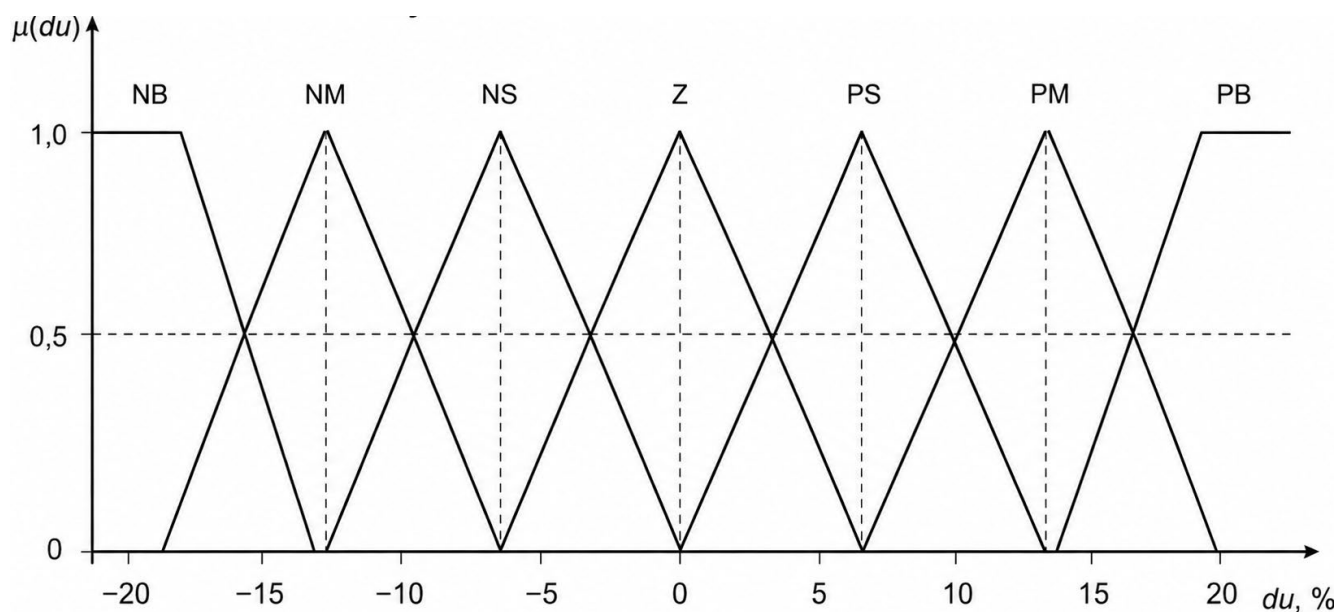


Рисунок 3.5 – Функції належності вихідної змінної du

Узагальнені діапазони зміни вхідних і вихідних сигналів приведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Діапазони зміни лінгвістичних змінних

Змінна	Позначення	Діапазон	Одиниця вимірювання
Похибка температури	e	-30...30	°C
Зміна похибки	de	-10...10	°C
Зміна керуючого сигналу	du	-20...20	%

Вибір таких діапазонів дозволяє забезпечити достатню чутливість нечіткого регулятора до малих відхилень температури та водночас сформувати інтенсивну керуючу дію при значних відхиленнях від заданого режиму.

3.5 Розроблення бази нечітких правил

База нечітких правил є основою роботи нечіткого регулятора. Вона визначає залежність між вхідними змінними e , de та вихідною змінною du . Правила формуються на основі логіки керування температурним процесом і можуть бути подані у вигляді тверджень типу:

$$\text{IF } e \text{ is } A \text{ AND } de \text{ is } B \text{ THEN } du \text{ is } C, \quad (3.5)$$

де

A , B , C — відповідні лінгвістичні терми.

Якщо температура на виході печі значно нижча за задану, тобто похибка має велике додатне значення, регулятор повинен збільшити подачу палива. Якщо температура перевищує задане значення, подачу палива необхідно зменшити. Якщо похибка близька до нуля, керуючий вплив має бути малим або відсутнім (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – База нечітких правил регулятора

e / de	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z	PS
NM	NB	NB	NM	NS	Z	PS	PM
NS	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
Z	NM	NS	Z	Z	Z	PS	PM
PS	NS	Z	PS	PM	PB	PB	PB
PM	Z	PS	PM	PB	PB	PB	PB
PB	PS	PM	PB	PB	PB	PB	PB

Подана база правил забезпечує плавну зміну керуючого впливу залежно від величини похибки та швидкості її зміни. При значному відхиленні температури від заданого значення формується інтенсивна дія на регулюючий клапан. При наближенні температури до заданого значення керуючий вплив зменшується, що дозволяє знизити перерегулювання.

Графічне представлення поверхні нечіткого логічного висновку наведено на рис. 3.6.

Для логічної операції AND використовується мінімум:

$$\mu_{A_AND_B} = \min(\mu_A, \mu_B). \quad (3.6)$$

Для об'єднання результатів правил використовується максимум:

$$\mu_{result} = \max(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n). \quad (3.7)$$

Для дефазифікації застосовується метод центра ваги:

$$du = \frac{\sum(\mu_i z_i)}{\sum(\mu_i)}, \quad (3.8)$$

де

du — чітке значення вихідного керуючого сигналу;

μ_i — ступінь належності;

z_i — значення вихідної змінної.

Структурну модель системи нечіткого керування у середовищі Simulink наведено на рис. 3.7.

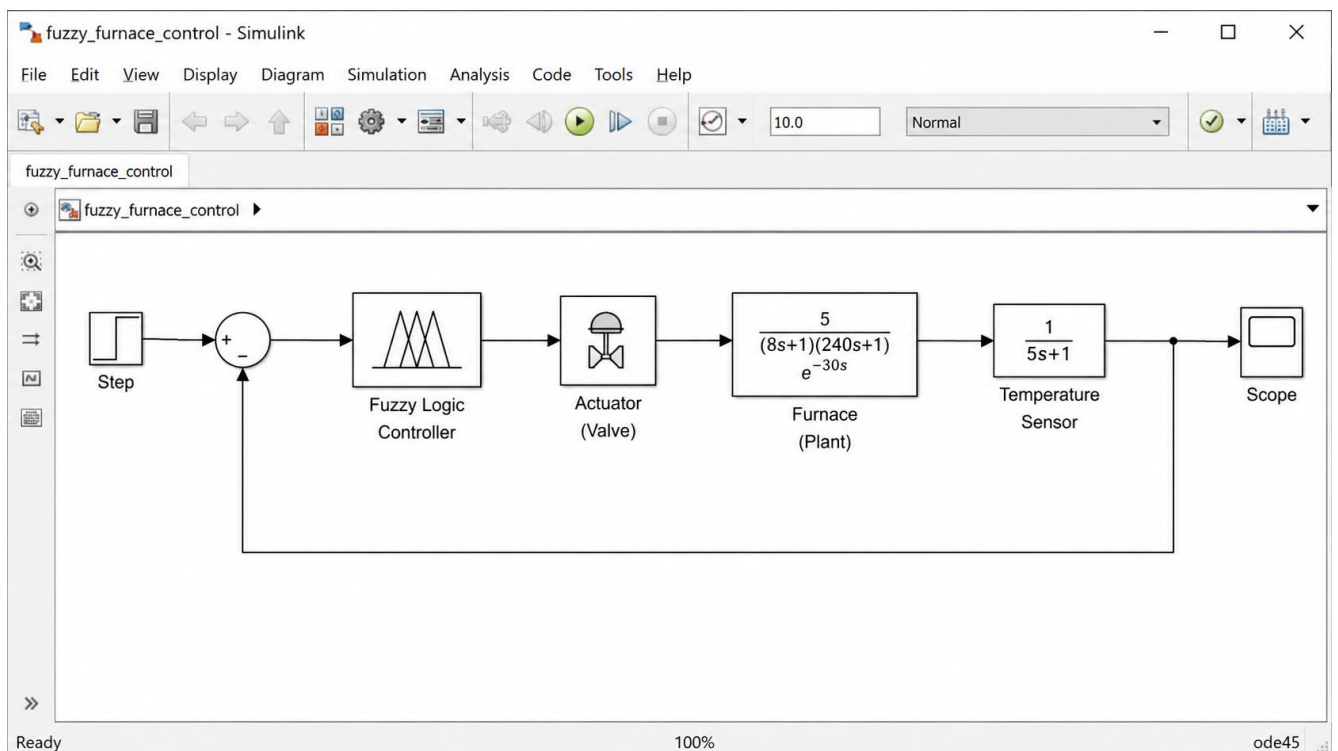


Рисунок 3.7 – Структурна модель нечіткої системи керування у MATLAB Simulink

У складі моделі використано блок задавального сигналу, блок порівняння, нечіткий регулятор, модель виконавчого механізму, передавальну функцію трубчастої печі та блок зворотного зв'язку.

3.7 Моделювання системи керування

Для дослідження роботи нечіткої системи керування використовується передавальна функція трубчастої печі, отримана у другому розділі:

$$W_1(p) = \frac{500 \cdot e^{-30p}}{240p + 1}.$$

Для врахування виконавчого механізму та датчика температури використовується загальна передавальна функція керованого об'єкта:

$$W_o(p) = (5e^{-30p}) / ((8p + 1)(240p + 1)(5p + 1))$$

Моделювання виконується для випадку ступінчастої зміни заданого значення температури. Початкове значення температури нафти на виході приймається 330 °С, а задане значення — 350 °С. Таким чином, система повинна забезпечити підвищення температури на 20 °С та її стабілізацію на заданому рівні.

Під час моделювання аналізуються основні показники якості регулювання: час наростання, час встановлення, перерегулювання, статична похибка та характер перехідного процесу.

Перехідну характеристику нечіткої системи керування наведено на рис. 3.8.

Для порівняння якості роботи нечіткого регулятора може бути побудована перехідна характеристика системи з класичним ПД-регулятором. Порівняння перехідних процесів наведено на рис. 3.9.

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

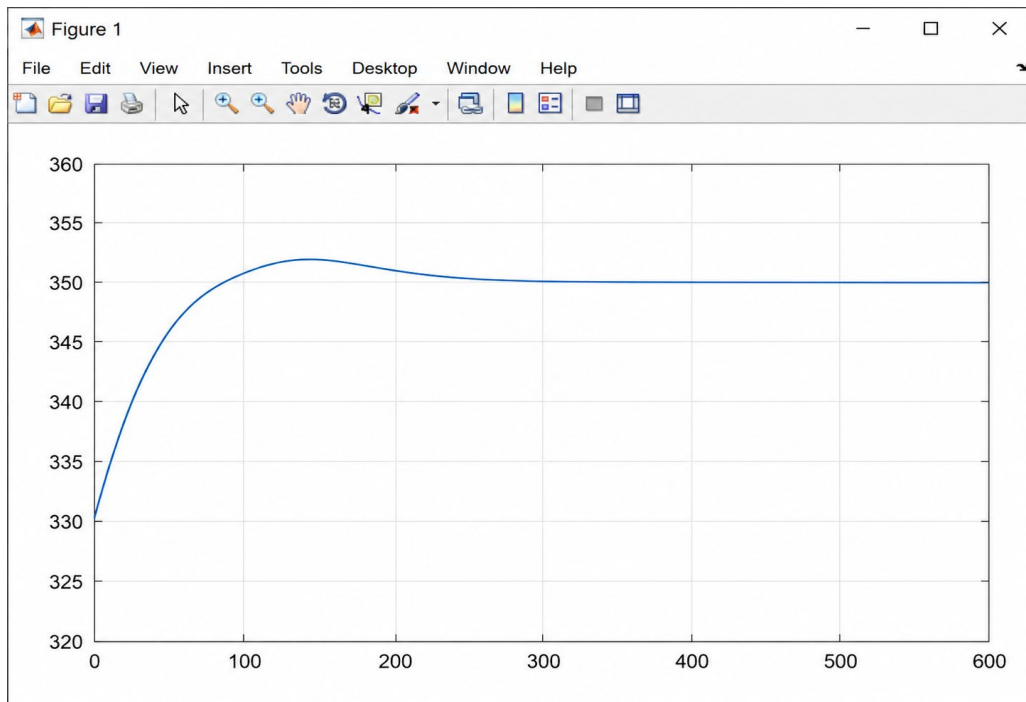


Рисунок 3.8 – Перехідна характеристика нечіткої системи керування температурою нафти

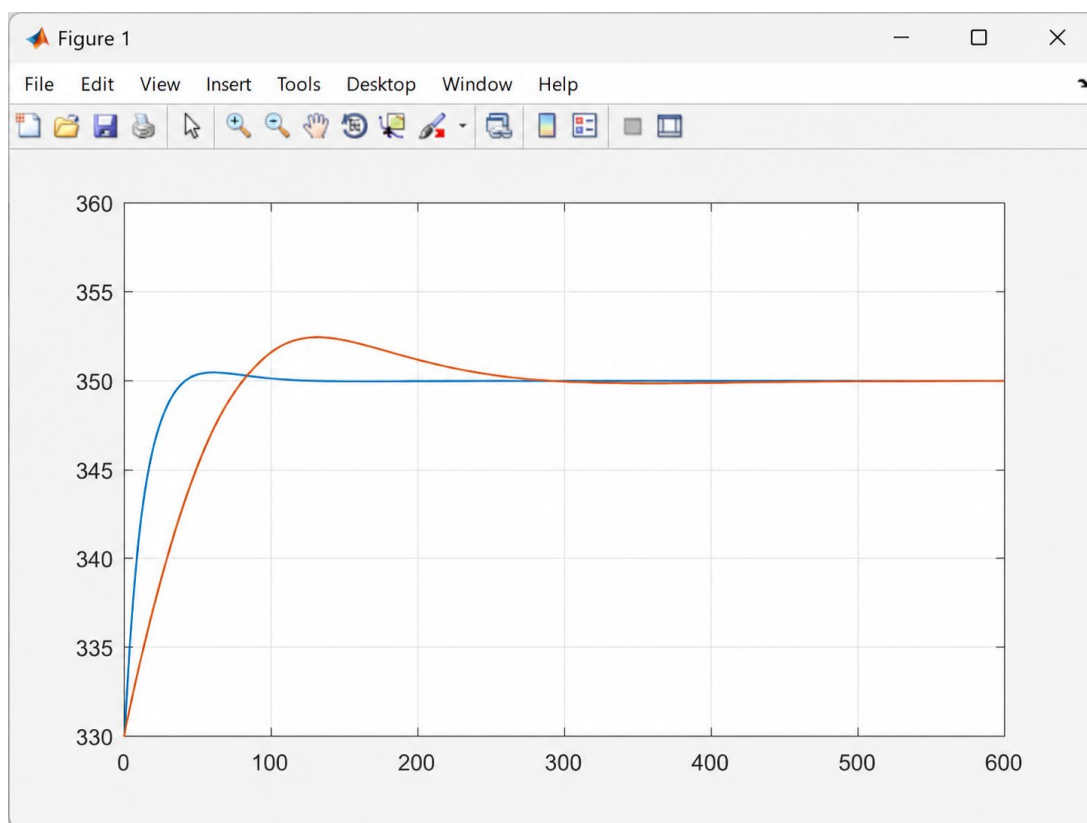


Рисунок 3.9 – Порівняння перехідних характеристик системи з нечітким та ПІД-регулятором

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Після проведення моделювання виконується оцінка якості роботи синтезованої системи керування. Основними показниками, за якими оцінюється ефективність системи, є час регулювання, величина перерегулювання та статична похибка.

3.8 Аналіз якості керування

Для нечіткої системи керування характерним є плавний перехідний процес без значних коливань. Це пояснюється тим, що нечіткий регулятор формує керуючий вплив залежно не лише від поточного значення похибки, але й від напрямку її зміни. Завдяки цьому система швидше реагує на відхилення температури та зменшує керуючий вплив при наближенні до заданого значення.

Орієнтовні результати моделювання наведено у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Порівняння показників якості регулювання

Показник якості	ПІД-регулятор	Нечіткий регулятор
Час встановлення, с	620	480
Перерегулювання, %	8.5	2.5
Статична похибка, °С	1.2	0.3
Колівальність процесу	помірна	незначна
Стійкість до збурень	середня	підвищена

З аналізу табл. 3.4 видно, що нечіткий регулятор забезпечує кращі показники якості порівняно з класичним ПІД-регулятором. Зменшується час встановлення, знижується перерегулювання та практично усувається статична похибка.

Покращення якості керування пояснюється тим, що нечіткий регулятор використовує базу правил, яка враховує різні режими роботи об'єкта. При значних відхиленнях температури формується активна керуюча дія, а при наближенні до заданого значення керуючий сигнал зменшується. Це дозволяє уникнути різких коливань і забезпечити плавне досягнення заданої температури.

Висновки до розділу

У даному розділі виконано синтез нечіткої системи автоматичного керування температурою нафти на виході трубчастої печі. Обґрунтовано доцільність використання нечіткого регулятора для керування складним теплотехнічним об'єктом, який характеризується інерційністю, запізненням та нелінійними властивостями.

Визначено структуру нечіткого регулятора, обрано вхідні та вихідні лінгвістичні змінні, сформовано функції належності та розроблено базу нечітких правил. Як вхідні змінні використано похибку температури та зміну похибки, а вихідною змінною обрано зміну керуючого сигналу на регулюючий клапан подачі паливного газу.

Розглянуто реалізацію нечіткого регулятора у середовищі MATLAB Simulink та виконано аналіз якості керування. Встановлено, що нечіткий регулятор дозволяє покращити динамічні характеристики системи, зменшити перерегулювання, скоротити час встановлення та підвищити стійкість системи до дії зовнішніх збурень.

Отримані результати підтверджують доцільність застосування нечіткої системи керування для стабілізації температурного режиму трубчастої печі установки переробки нафти.

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРОБКА ПРОЄКТНОЇ СКЛАДОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

4.1 Вибір технічних засобів автоматизації

Вибір технічних засобів автоматизації виконується з урахуванням особливостей технологічного процесу нагрівання нафти у трубчастій печі, умов експлуатації обладнання, необхідної точності вимірювання, надійності роботи системи та можливості інтеграції засобів автоматизації у єдину систему керування.

Для реалізації системи автоматичного керування температурою нафти на виході трубчастої печі доцільно використати технічні засоби автоматизації провідних виробників промислової автоматики. У даній роботі польові контрольно-вимірювальні прилади та виконавчі пристрої прийнято на базі обладнання фірми Emerson, а контролерне обладнання, операторський інтерфейс і шафну автоматику — на базі продукції Schneider Electric.

Такий підхід дозволяє поєднати високоточні засоби вимірювання технологічних параметрів із надійною системою програмного керування. Прилади Emerson широко застосовуються у нафтогазовій, хімічній та енергетичній промисловості для вимірювання температури, тиску та витрати. Обладнання Schneider Electric забезпечує реалізацію алгоритмів автоматичного керування, обробку сигналів, візуалізацію параметрів процесу та зв'язок із операторською станцією.

Основним регульованим параметром системи є температура нафти на виході трубчастої печі. Для її вимірювання приймається температурний перетворювач Emerson Rosemount 3144P (рис. 4.1.) у комплекті з термоперетворювачем опору або термопарою залежно від діапазону температури. Сигнал від первинного перетворювача передається до програмованого контролера у вигляді уніфікованого сигналу 4–20 мА з можливістю цифрового обміну даними за протоколом HART.

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.1 - Температурний перетворювач Emerson Rosemount 3144P

Для контролю тиску паливного газу та тиску у технологічних лініях доцільно застосувати перетворювачі тиску Emerson Rosemount 3051 (рис. 4.2). Ці прилади забезпечують вимірювання надлишкового або диференціального тиску та можуть використовуватися у складних промислових умовах. Контроль тиску необхідний для безпечної роботи трубчастої печі, оскільки порушення режиму подачі паливного газу може призвести до нестабільного горіння або аварійної ситуації.



Рисунок 4.2 - Перетворювач тиску Emerson Rosemount 3051

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Вихровий метод вимірювання є доцільним для газових середовищ і дозволяє контролювати витрату палива, що є основним керуючим параметром у системі регулювання температури.

Виконавчим елементом системи є регулюючий клапан подачі паливного газу. Для керування положенням клапана доцільно застосувати цифровий позиціонер Emerson Fisher FIELDVUE DVC6200 (рис. 4.3). Він забезпечує перетворення керуючого сигналу від контролера у зміну положення регулюючого органу та дозволяє підвищити точність керування витратою палива.



Рисунок 4.3 - Цифровий позиціонер Emerson Fisher FIELDVUE DVC6200

Функції збору, обробки сигналів і формування керуючої дії виконує програмований логічний контролер Schneider Electric Modicon M580 (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 - Програмований логічний контролер Schneider Electric Modicon M580

Контролер приймає сигнали від датчиків температури, тиску та витрати, реалізує алгоритм нечіткого керування і формує керуючий сигнал на виконавчий механізм регулюючого клапана. Для підключення аналогових сигналів використовуються модулі введення та виведення Schneider Electric X80 (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 - Модулі введення та виведення Schneider Electric X80

Для відображення технологічних параметрів, введення заданого значення температури та контролю стану системи передбачається використання операторської панелі Schneider Electric Harmony HMI. На екрані операторської панелі відображаються температура нафти на виході печі, задане значення температури, витрата паливного газу, тиск у паливній лінії, стан регулюючого клапана та аварійні повідомлення.

Програмна реалізація алгоритму керування може бути виконана у середовищі Schneider Electric EcoStruxure Control Expert. У цьому середовищі реалізуються логіка обробки сигналів, алгоритм нечіткого керування, аварійні блокування, сигналізація та обмін даними з операторською панеллю.

Основні технічні засоби автоматизації, прийняті для реалізації системи керування трубчастою піччю, наведено у табл. 4.1.

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Вибір технічних засобів автоматизації

Позиція	Контрольований або керований параметр	Прийнятий технічний засіб	Виробник	Призначення
ТТ-101	Температура нафти на виході печі	Rosemount 3144P	Emerson	Вимірювання основного регульованого параметра
ТТ-102	Температура нафти на вході печі	Rosemount 3144P	Emerson	Контроль температури сировини перед нагріванням
FT-101	Витрата паливного газу	Rosemount 8800 Vortex	Emerson	Вимірювання витрати палива
РТ-101	Тиск паливного газу	Rosemount 3051	Emerson	Контроль тиску у паливній лінії
РТ-102	Тиск у трубчастому змійовику	Rosemount 3051	Emerson	Контроль безпечного режиму роботи печі
TV-101	Регулюючий клапан подачі палива	Fisher control valve	Emerson	Зміна витрати паливного газу
TY-101	Позиціонер регулюючого клапана	Fisher FIELDVUE DVC6200	Emerson	Керування положенням клапана
PLC-101	Програмований контролер	Modicon M580	Schneider Electric	Реалізація алгоритму керування
AI/AO-101	Модулі аналогового введення/виведення	X80 I/O modules	Schneider Electric	Підключення сигналів 4–20 мА
HMI-101	Операторська панель	Harmony HMI	Schneider Electric	Візуалізація та керування процесом
PS-101	Джерело живлення 24 В DC	Блок живлення Schneider Electric	Schneider Electric	Живлення контролера та приладів автоматики
QF-101	Автоматичний вимикач	Автоматичний вимикач Schneider Electric	Schneider Electric	Захист електричних кіл системи

Вибрані технічні засоби автоматизації забезпечують вимірювання основних технологічних параметрів, реалізацію алгоритму нечіткого керування,

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

формування керуючого впливу на регулюючий клапан та візуалізацію процесу для оператора. Використання приладів Emerson на польовому рівні та обладнання Schneider Electric на контролерному рівні дозволяє створити надійну, гнучку та придатну до промислової експлуатації систему керування трубчастою піччю.

4.2 Розробка функціональної схеми автоматизації

Функціональна схема автоматизації трубчастої печі, наведена на рис. 4.6, відображає структуру контролю та керування процесом нагрівання нафти в установці переробки. Основне призначення цієї схеми полягає у забезпеченні стабільної температури нафти на виході з печі, контролі параметрів паливної лінії, своєчасному виявленні відхилень технологічного режиму та формуванні керуючого впливу на регулюючий клапан подачі паливного газу.

У розробленій системі автоматизації основним регульованим параметром є температура нафти на виході трубчастої печі. Саме цей параметр визначає якість подальшого технологічного процесу та ефективність роботи установки. Для його вимірювання передбачено встановлення температурного перетворювача ТТ-101 на вихідному трубопроводі нагрітої нафти. Як технічний засіб вимірювання прийнято перетворювач температури Emerson Rosemount 3144Р, який забезпечує передавання сигналу до системи керування у вигляді уніфікованого струмового сигналу 4–20 мА.

Сигнал від ТТ-101 надходить на аналоговий модуль введення контролера Schneider Electric Modicon M580. У контролері виконується порівняння поточного значення температури з заданим значенням, яке задається оператором з панелі керування. На основі отриманої похибки та характеру її зміни формується керуюча дія відповідно до алгоритму нечіткого регулювання. Такий підхід дозволяє враховувати інерційність трубчастої печі та забезпечувати більш плавне регулювання температури порівняно з класичними алгоритмами.

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

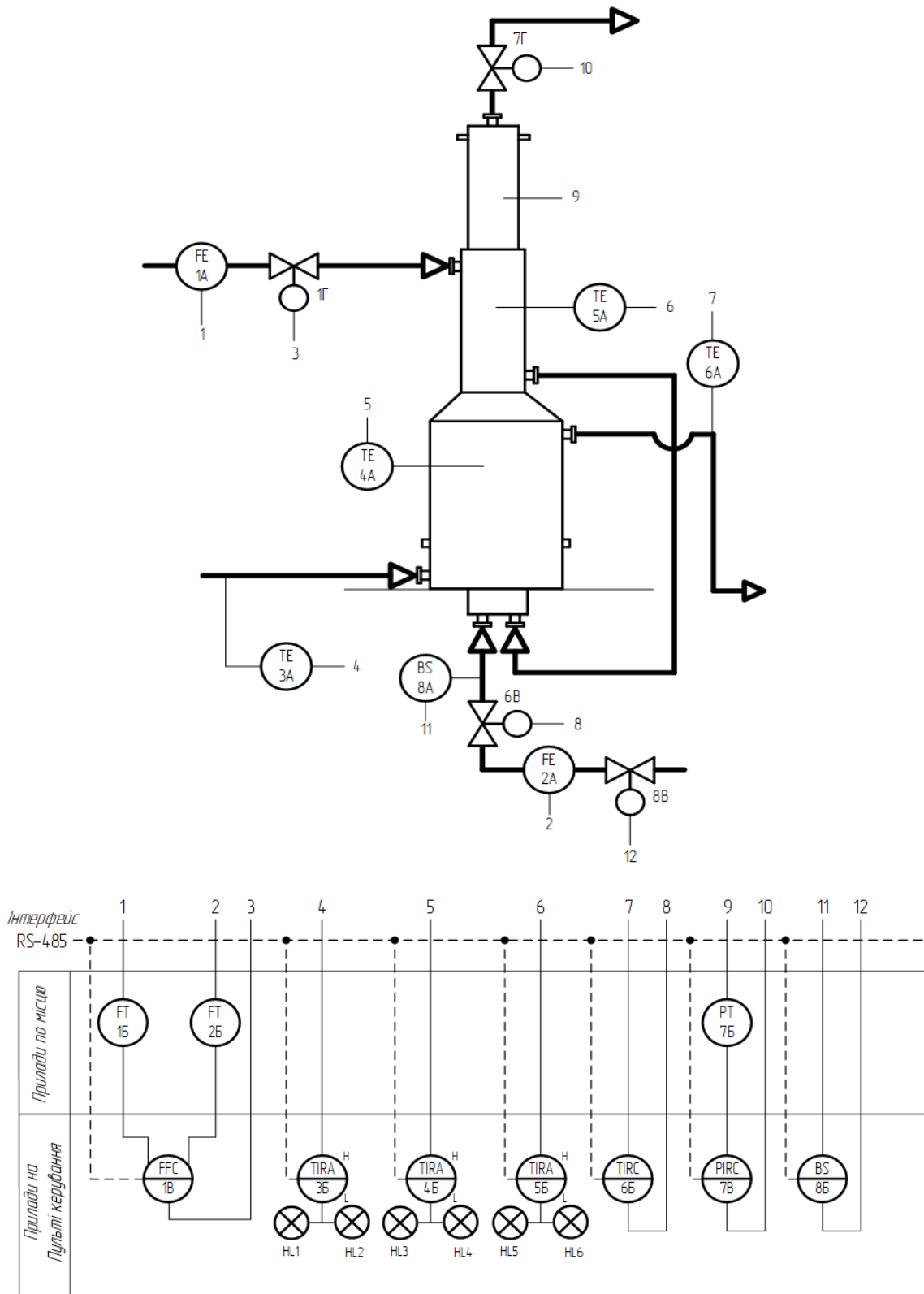


Рисунок 4.6 – Функціональна схема автоматизації трубчатої печі

Керуючий сигнал із контролера Modicon M580 передається на виконавчий пристрій регулюючого клапана паливного газу. Для керування положенням

клапана використовується цифровий позиціонер Emerson Fisher FIELDVUE DVC6200, який встановлюється безпосередньо біля регулюючого клапана. Позиціонер забезпечує точне переміщення регулюючого органу відповідно до сигналу контролера, а також дозволяє здійснювати діагностику стану клапана. Регулюючий клапан TV-101 змінює витрату паливного газу, що подається до пальникових пристроїв трубчастої печі.

Зміна витрати паливного газу безпосередньо впливає на інтенсивність процесу горіння у печі. Якщо температура нафти на виході нижча за задану, нечіткий регулятор формує сигнал на збільшення відкриття клапана, внаслідок чого подача палива зростає. Якщо температура перевищує задане значення, подача паливного газу зменшується. Таким чином забезпечується автоматичне підтримання необхідного температурного режиму процесу нагрівання.

Для контролю витрати паливного газу на функціональній схемі передбачено встановлення витратоміра FT-101. Як засіб вимірювання витрати прийнято Emerson Rosemount 8800 Vortex. Сигнал від витратоміра надходить до контролера і використовується для контролю режиму подачі палива. Отримана інформація дає можливість оператору оцінювати поточну витрату паливного газу та своєчасно виявляти порушення у паливній системі.

Крім витрати палива, важливим параметром безпечної роботи трубчастої печі є тиск паливного газу. Для його вимірювання на паливній лінії встановлюється перетворювач тиску PT-101. У проєкті для цієї мети прийнято Emerson Rosemount 3051. Сигнал від датчика тиску передається до контролера Modicon M580, де здійснюється контроль допустимих меж параметра. У разі виходу тиску за встановлені межі система формує попереджувальний або аварійний сигнал.

Контроль температури нафти на вході до печі здійснюється за допомогою температурного перетворювача TT-102. Цей параметр не є основним регульованим, однак він має важливе значення для оцінювання теплового навантаження печі. Зниження температури сировини на вході призводить до збільшення потреби у тепловій енергії, тому інформація від TT-102 може

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовуватися оператором або системою керування для аналізу режиму роботи печі.

Для візуалізації параметрів технологічного процесу використовується операторська панель Schneider Electric Harmony HMI. На її екрані відображаються температура нафти на виході та вході печі, витрата паливного газу, тиск у паливній лінії, стан регулюючого клапана, режим роботи системи керування та повідомлення про аварійні або попереджувальні ситуації. Оператор має можливість задавати необхідне значення температури, спостерігати за зміною параметрів у реальному часі та контролювати роботу системи.

Програмна реалізація алгоритмів керування, обробки сигналів і формування аварійних повідомлень виконується у середовищі Schneider Electric EcoStruxure Control Expert. У цьому середовищі створюється програма для контролера Modicon M580, яка забезпечує приймання аналогових сигналів від польових приладів Emerson, виконання алгоритму нечіткого регулювання та формування вихідного сигналу на позиціонер регулюючого клапана.

У розробленій функціональній схемі прилади, встановлені безпосередньо на технологічному обладнанні або трубопроводах, відносяться до польового рівня. До них належать ТТ-101, ТТ-102, FT-101, РТ-101, регулюючий клапан TV-101 та позиціонер Fisher FIELDVUE DVC6200. Засоби, що забезпечують обробку сигналів, керування і візуалізацію процесу, розміщуються на щиті керування. До них належать контролер Schneider Electric Modicon M580, модулі введення-виведення X80 та операторська панель Harmony HMI.

Передавання сигналів між польовими приладами і щитом керування здійснюється за допомогою уніфікованих аналогових сигналів 4–20 мА. Для підключення інтелектуальних приладів Emerson може використовуватися цифровий протокол HART, що дозволяє виконувати налаштування, діагностику та перевірку стану приладів безпосередньо з системи керування або за допомогою переносного комунікатора.

Особливу увагу у функціональній схемі приділено безпеці роботи трубчастої печі. Контроль тиску паливного газу, контроль витрати палива та

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контроль температури нагрітої нафти дозволяють своєчасно виявляти відхилення технологічного режиму. У разі аварійного перевищення температури або порушення параметрів паливної лінії система повинна формувати сигналізацію для оператора, а за необхідності — переводити виконавчі механізми у безпечний стан.

Таким чином, розроблена функціональна схема автоматизації забезпечує автоматичне керування температурним режимом трубчастої печі, контроль основних технологічних параметрів, передавання інформації на операторський щит і формування керуючої дії на регулюючий клапан паливного газу. Використання польових приладів Emerson та контролерного обладнання Schneider Electric дозволяє побудувати надійну систему автоматизації, придатну для роботи в умовах нафтопереробного виробництва.

Висновки до розділу

У розділі бакалаврської роботи розроблено проєктну складову системи керування процесом нагрівання нафти у трубчастій печі. Основну увагу приділено вибору технічних засобів автоматизації та розробленню функціональної схеми автоматизації з урахуванням особливостей технологічного процесу.

Для реалізації системи керування обрано сучасні технічні засоби автоматизації фірм Emerson та Schneider Electric. Польовий рівень системи побудовано на основі вимірювальних приладів Emerson, зокрема температурних перетворювачів Rosemount 3144P, перетворювачів тиску Rosemount 3051, витратоміра Rosemount 8800 Vortex, а також регулюючого клапана з позиціонером Fisher FIELDVUE DVC6200. Таке рішення забезпечує надійне вимірювання основних технологічних параметрів та точне керування витратою паливного газу.

Контролерний рівень системи реалізовано на базі обладнання Schneider Electric. Для обробки сигналів, реалізації алгоритму нечіткого керування та формування керуючої дії запропоновано використання програмованого

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контролера Modicon M580 з модулями введення-виведення X80. Для відображення параметрів процесу та взаємодії оператора із системою передбачено використання операторської панелі Harmony HMI.

Розроблена функціональна схема автоматизації передбачає розміщення первинних вимірювальних перетворювачів безпосередньо на технологічному обладнанні та трубопроводах, а засобів обробки, керування і візуалізації — на щиті керування. Такий підхід відповідає принципам побудови промислових систем автоматизації та забезпечує зручність експлуатації, контролю і технічного обслуговування.

Основним контуром системи є контур автоматичного регулювання температури нафти на виході трубчастої печі. Температура вимірюється первинним перетворювачем, сигнал надходить до контролера, де порівнюється із заданим значенням, після чого формується керуючий сигнал на регулюючий клапан подачі паливного газу. Завдяки цьому забезпечується стабілізація температурного режиму печі та підвищення ефективності процесу нагрівання.

Крім основного регульованого параметра, у системі передбачено контроль витрати паливного газу, тиску в паливній лінії та температури нафти на вході до печі. Контроль цих параметрів дає можливість своєчасно виявляти порушення технологічного режиму, підвищити безпеку експлуатації обладнання та забезпечити надійну роботу трубчастої печі.

Отже, у розділі обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації та розроблено функціональну схему автоматизації системи керування трубчастою піччю. Запропонована проєктна реалізація дозволяє забезпечити автоматичне регулювання температури нафти, контроль основних технологічних параметрів, візуалізацію процесу для оператора та підвищення надійності роботи установки.

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі виконано синтез системи керування процесом нагрівання нафти у трубчастій печі установки переробки нафти. Основну увагу приділено розробленню нечіткої одноконтурної системи автоматичного керування температурою нафти на виході трубчастої печі, математичному моделюванню об'єкта керування та розробленню проєктної складової системи автоматизації.

У першому розділі проведено аналіз технологічного процесу нагрівання нафти у трубчастій печі як об'єкта автоматичного керування. Розглянуто призначення трубчастої печі, її основні конструктивні елементи, особливості процесу теплообміну та основні параметри, які впливають на якість роботи установки. Встановлено, що трубчаста піч є складним теплотехнічним об'єктом, для якого характерні значна інерційність, транспортне запізнення, нелінійність характеристик і вплив зовнішніх збурень.

Визначено, що основним регульованим параметром системи є температура нафти на виході трубчастої печі, а основним керуючим впливом — витрата паливного газу, що подається до пальникових пристроїв. Обґрунтовано необхідність контролю додаткових технологічних параметрів, зокрема температури нафти на вході, витрати паливного газу та тиску у паливній лінії.

У другому розділі виконано математичне моделювання керованого об'єкта. На основі рівняння теплового балансу побудовано математичну модель процесу нагрівання нафти у трубчастій печі. Отримано передавальні функції за основним каналом керування «витрата паливного газу — температура нафти на виході» та за каналами збурення. Встановлено, що трубчасту піч доцільно описувати як інерційний об'єкт із транспортним запізненням.

Для подальшого дослідження системи керування отримано передавальну функцію об'єкта з урахуванням виконавчого механізму, трубчастої печі та датчика температури. Отримані математичні залежності використано для

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

побудови структурної схеми системи автоматичного керування та моделювання перехідних процесів.

У третьому розділі виконано синтез нечіткої системи автоматичного керування температурою нафти на виході трубчастої печі. Обґрунтовано доцільність застосування нечіткого регулятора для керування об'єктом із нелінійними властивостями, інерційністю та запізненням. Як вхідні змінні нечіткого регулятора обрано похибку регулювання та зміну похибки, а вихідною змінною — зміну керуючого сигналу на регулюючий клапан подачі паливного газу.

Для нечіткого регулятора сформовано лінгвістичні змінні, функції належності та базу нечітких правил. Розглянуто структуру нечіткого регулятора, яка включає блок фазифікації, базу знань, механізм нечіткого логічного висновку та блок дефазифікації. Запропонована структура дозволяє формувати керуючу дію залежно від поточного стану системи та характеру зміни температурної похибки.

Моделювання перехідних процесів показало, що застосування нечіткого регулятора дозволяє покращити якість керування температурним режимом трубчастої печі. У порівнянні з класичним регулятором нечітка система забезпечує більш плавний перехідний процес, менше перерегулювання, зменшення статичної похибки та підвищення стійкості до зовнішніх збурень.

У проєктній частині роботи здійснено вибір технічних засобів автоматизації для реалізації системи керування. Польовий рівень системи запропоновано виконати на базі обладнання Emerson, зокрема температурних перетворювачів Rosemount 3144P, перетворювачів тиску Rosemount 3051, витратоміра Rosemount 8800 Vortex та регулюючого клапана з позиціонером Fisher FIELDVUE DVC6200.

Контрольний рівень системи запропоновано реалізувати на базі обладнання Schneider Electric. Для обробки сигналів, реалізації алгоритму нечіткого керування та формування керуючого впливу обрано програмований контролер Modicon M580 з модулями введення-виведення X80. Для взаємодії оператора із системою передбачено використання операторської панелі Harmony HMI.

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розроблено функціональну схему автоматизації трубчастої печі, яка передбачає встановлення первинних вимірювальних перетворювачів безпосередньо на технологічному обладнанні та трубопроводах, а засобів обробки, керування і візуалізації — на щиті керування. Основним контуром системи є контур автоматичного регулювання температури нафти на виході печі шляхом зміни витрати паливного газу.

Отримані результати підтверджують доцільність застосування нечіткої одноконтурної системи керування для стабілізації температурного режиму трубчастої печі. Запропонована система дозволяє підвищити якість автоматичного регулювання, забезпечити стабільну роботу технологічного об'єкта, зменшити вплив зовнішніх збурень та покращити експлуатаційні характеристики процесу нагрівання нафти.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленої структури системи керування, математичної моделі, нечіткого регулятора та функціональної схеми автоматизації під час проєктування або модернізації систем автоматичного керування трубчастими печами нафтопереробних установок.

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
2. Zadeh, L. A. Fuzzy Sets. Information and Control. 1965. Vol. 8, No. 3. P. 338–353.
3. Mamdani, E. H., & Assilian, S. An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. International Journal of Man-Machine Studies. 1975. Vol. 7, No. 1. P. 1–13.
4. Ross, T. J. Fuzzy Logic with Engineering Applications. 4th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2016.
5. Emerson. Rosemount 3144P Temperature Transmitter. Product Data Sheet. URL: <https://www.emerson.com/en/measurement-instrumentation/products/rosemount-3144p-temperature-transmitter-family>
6. Emerson. Rosemount 3051 Pressure Transmitter. Product Documentation. URL: <https://www.emerson.com/en/measurement-instrumentation/products/rosemount-3051-pressure-transmitter-family>
7. Emerson. Rosemount 8800 Vortex Flow Meter. Product Documentation. URL: <https://www.emerson.com/en/measurement-instrumentation/products/rosemount-8800-flanged-vortex-flow-meter-family>
8. Emerson. Fisher FIELDVUE DVC6200 Digital Valve Controller. Product Documentation. URL: <https://www.emerson.com/en/final-control/products/fisher-dvc6200>
9. Schneider Electric. Modicon M580 ePAC Controller. Product Documentation. URL: <https://www.se.com/ua/uk/product-range/62098-modicon-m580-epac/>
10. Schneider Electric. EcoStruxure Control Expert. Product Documentation. URL: <https://www.se.com/ua/uk/product-range/548-ecostruxure-control-expert-unity-pro/>

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Schneider Electric. Harmony HMI. Human Machine Interface Panels.
URL: <https://www.se.com/ua/uk/product-category/2100-засоби-людинамашинного-інтерфейсу/>

12. MathWorks. MATLAB Documentation. URL:
<https://www.mathworks.com/help/matlab/>

					БР.АКП-53.00.00.000 ПЗ	59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		