

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП -03.00.00.000 ПЗ

група АКП -21-1

Андрій Данилюк

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

Данилюк Андрій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.5: 662.749
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Автоматизація технологічного процесу сповільненого

(назва роботи)

коксування

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

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

Нормоконтроль

к.т.н. О. В. Кучмистенко
(науковий ступінь, підпис) (дата) (ініціали та прізвище)
вчене звання)

Рецензент

к.т.н., доцент І.І. Чигур
(науковий ступінь, підпис) (дата) (ініціали та прізвище)
вчене звання)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-21-1 А. В. Данилюк
(шифр групи) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Науковий керівник

к.т.н., доцент Л. І. Фешанич
(науковий ступінь, підпис) (дата) (ініціали та прізвище)
вчене звання)

Допущено до захисту Завідуючий кафедри

к.т.н., доцент А. І. Лагойда
(науковий ступінь, підпис) (дата) (ініціали та прізвище)
вчене звання)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ

А.І. Лагойда.

«___» _____ 20__ року

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

Данилюку Андрію Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизація технологічного процесу сповільненого коксування

керівник роботи Фешанич Лідія Ігорівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 7 » травня 2025 року № 52/8

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025

3. Вихідні дані до роботи: Технологічна схема, технологічні параметри, технічна література, інтернет-ресурс.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Дослідження технологічного процесу сповільненого коксування як з точки зору автоматизації. 2. Моделювання об'єкту керування.

3 Створення та перевірка стійкості одноконтурної та каскадної автоматичної системи керування. 4. Розроблення схеми автоматизації та вибір технічних засобів автоматизації. Загальні висновки.

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

Лист 1 - Технологічна схема - БР.АКП-03.00.00.001

Лист 2 - Функціональна схема автоматизації - БР.АКП-03.00.00.002

Лист 3 - Результати експериментального дослідження - БР.АКП-03.00.00.003

Лист 4 - Синтез одноконтурної АСР - БР.АКП-03.00.00.004

Лист 5 - Синтез каскадної АСР- БР.АКП-03.00.00.005

Лист 6 - Дослідження стійкості систем - БР.АКП-03.00.00.006

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота містить: 68 сторінки, 26 рисунків, 5 таблиця, 12 джерел.

Тема: «Автоматизація технологічного процесу сповільненого коксування».

Об'єкт дослідження: процес сповільненого коксування.

Метою роботи є удосконалення системи автоматизації процесу сповільненого коксування.

Методи дослідження. У роботі використано методи системного аналізу, математичного моделювання та теорії автоматичного керування. Для дослідження динаміки автоматичних систем регулювання застосовано критерії стійкості Михайлова та Найквіста.

Результати бакалаврської роботи.

Розглянуто процес сповільненого коксування, який застосовується для перетворення коксувального вугілля на високоякісний кокс. Досліджено властивості сировини (коксувального вугілля), реагентів та кінцевого продукту — коксу. Обґрунтовано вибір параметрів керування, що є ключовим етапом у впровадженні автоматизації цього процесу та впливає на ефективність, якість і економічність виробництва. Математично описано об'єкт керування — реактор. Для цілей аналізу та моделювання системи у середовищі MatLab визначено передавальні функції для основного й допоміжного каналів регулювання. Вивчено роботу одноконтурної та каскадної автоматизованих систем керування (АСК). Подано обґрунтування вибору регулятора для одноконтурної АСК. Розраховано еквівалентну передавальну функцію, за допомогою якої здійснено аналіз стійкості за критерієм Михайлова в програмному середовищі MathCad. Проведено моделювання каскадної АСК. На підставі критерію Найквіста встановлено, що система є стійкою. Розроблено функціональну схему автоматизації. Обрано та обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації відповідно до вимог. У якості контролера обрано вітчизняний пристрій МІК-51.

Ключові слова: система керування, стійкість, технічні засоби, коксування.

ABSTRACT

The bachelor's thesis contains: 68 pages, 26 figures, 5 tables, 12 sources.

Topic: "Automation of the Delayed Coking Process."

Object of research: the delayed coking process.

The aim of the work is to improve the automation system of the delayed coking process.

Research methods. The study applies methods of systems analysis, mathematical modeling, and automatic control theory. To study the dynamics of automatic control systems, the Mikhailov and Nyquist stability criteria are used.

Results of the bachelor's thesis. The delayed coking process, used to convert coking coal into high-quality coke, has been examined. The properties of raw materials (coking coal), reagents, and the final product — coke — are analyzed. The selection of control parameters is justified as a key stage in the implementation of process automation, influencing efficiency, quality, and economic feasibility of production. The control object — the reactor — is described mathematically. For the purpose of analysis and modeling, transfer functions for the main and auxiliary control channels are determined using the MatLab environment.

The operation of single-loop and cascade automatic control systems (ACS) is investigated. The choice of controller for the single-loop ACS is substantiated. An equivalent transfer function is calculated, based on which system stability is analyzed using the Mikhailov criterion in the MathCad environment. Modeling of the cascade ACS is performed. Based on the Nyquist criterion, the system is found to be stable.

A functional automation scheme is developed. The selection of automation hardware is substantiated in accordance with technical requirements. The domestic device MIK-51 is chosen as the controller.

Keywords: control system, stability, automation equipment, coking.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	8
1	АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СПОВІЛЬНЕНОГО КОКСУВАННЯ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	9
	1.1 Призначення технологічного процесу сповільненого коксування та його суть	9
	1.2 Розгляд характеристик сировини, реагентів і отриманої продукції.....	12
	1.3 Детальний аналіз технологічного процесу сповільненого коксування	18
	1.4. Вибір і обґрунтування параметрів управління.....	20
	1.4.1. Якість сировини.....	21
	1.4.2 Температура входу сировини в реактор.....	21
	1.4.3 Тиск в реакторі.....	22
	1.4.4 Час перебування сировини в реакторі.....	23
	1.4.5 Коефіцієнт рециркуляції.....	23
	Висновки до розділу	24
2	МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ.....	25
	2.1 Побудова структурної схеми об'єкта дослідження.....	25
	2.2 Дослідження об'єкта керування	26
	Висновки до розділу	33
3	СТВОРЕННЯ ТА ПЕРЕВІРКА СТІЙКОСТІ ОДНОКОНТУРНОЇ ТА КАСКАДНОЇ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ.....	35

					БР.АКП-03.00.00.000 ПЗ						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація технологічного процесу сповільненого коксування			Літ.	Арк.	Акрушів	
Розроб.	Данилюк А.В.									6	6
Перевір.	Фешанич Л.І.										
Реценз.	Чигур І.І.										
Н. Контр.	Кучмистенко О.В.										
Затверд.	Лагойда А.І.				АКП-21-1 ІФНТУНГ						

3.1. Вибір регулятора.....	34
3.2. Проведення розрахунку оптимальних параметрів налаштування регулятора для одноконтурної автоматичної системи керування.....	36
3.3. Перевірка стійкості одноконтурної автоматичної системи керування.....	40
3.4. Виконання розрахунків оптимальних параметрів налаштування регулятора каскадної АСК.....	42
3.5. Дослідження стійкості каскадної АСК.....	44
Висновки до розділу	47
4 ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ПІДБІР ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АТОМАТИЗАЦІЇ.....	48
4.1 Проектування функціональної схеми автоматизації.....	48
4.2. Вибір технічних засобів автоматизації.....	49
Висновки до розділу	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	64

ВСТУП

Сповільнене коксування є одним із ключових технологічних процесів у виробництві коксу – важливого сировинного матеріалу, який широко використовується в металургійній та хімічній промисловості. Суть процесу полягає в термічному розкладі коксувального вугілля за високих температур, у результаті чого утворюється кокс та інші побічні продукти.

У сучасних умовах все більшого значення набуває автоматизація процесу сповільненого коксування, яка спрямована на підвищення ефективності та надійності виробництва. Автоматизовані системи дозволяють мінімізувати вплив людського фактора, покращити контроль над технологічними параметрами та забезпечити стабільну якість кінцевої продукції.

Запровадження автоматизації в процес сповільненого коксування має низку суттєвих переваг. Сучасні автоматизовані системи управління дозволяють здійснювати безперервний моніторинг та регулювання основних технологічних параметрів, таких як температура, тиск і час коксування. Це дає змогу забезпечити стабільну роботу обладнання, зменшити простої, скоротити тривалість виробничих циклів та підвищити загальну продуктивність процесу. Завдяки точному керуванню процесом та зменшенню коливань технологічних параметрів, автоматизація сприяє виробництву коксу з прогнозованими характеристиками. Це дозволяє знизити рівень браку, підвищити відповідність продукції технічним умовам і вимогам замовників, а також зміцнити позиції підприємства на ринку.

Впровадження автоматизованих систем дає змогу оптимізувати використання енергії та сировини, що веде до економії ресурсів. Крім того, автоматизація дозволяє зменшити потребу в ручній праці на окремих етапах процесу, що знижує витрати на персонал і підвищує безпеку праці.

Таким чином, автоматизація процесу сповільненого коксування є необхідною умовою для забезпечення високої ефективності, стабільності та якості виробництва в умовах сучасного промислового середовища.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СПОВІЛЬНЕНОГО КОКСУВАННЯ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Призначення технологічного процесу сповільненого коксування та його суть

Установка коксування призначена для одержання нафтового коксу та додаткової кількості палива. Існує кілька модифікацій процесу коксування:

- коксування в кубах,
- сповільнене коксування,
- коксування в киплячому шарі коксу.

Суть сповільненого коксування полягає в нагріванні сировини до температури 490–510 °С із подальшою подачею в теплоізольовані камери (реактори). У цих камерах, завдяки акумульованому в сировині теплу, відбувається процес коксування. Це є найбільш жорсткою формою термічного крекінгу.

Метою коксування нафти та нафтопродуктів є одержання нафтового коксу та дистилатів із широким фракційним складом. Як сировину для виробництва нафтового коксу використовують відбензинені нафти, залишки первинної переробки — мазути, напівгудрони, гудрони, продукти вторинної переробки — крекінг-залишки, важкі газойлі каталітичного крекінгу, смоли піролізу, природні асфальти та залишки масляного виробництва (асфальти, екстракти).

Промислові процеси коксування поділяють на три типи: безперервні, напівбезперервні, періодичні.

Найбільшого поширення набув напівбезперервний процес сповільненого коксування, який відбувається за температури 505–515 °С та тиску 0,2–0,3 МПа. У результаті, крім нафтового коксу, отримують бензин, гас, а також середні та важкі коксові дистилати. Їхній вихід і якість залежать від хімічного та фракційного складу сировини.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Кокс (англ. coke, нім. Koks) — це вид твердого палива, який одержують шляхом нагрівання кам'яного вугілля, торфу або інших органічних матеріалів до високих температур без доступу повітря. Найчастіше застосовують кам'яновугільний кокс — твердий, пористий, високовуглецевий продукт сірого кольору, який утворюється під час коксування (нагрівання без доступу повітря до 1000–1100 °С) суміші кам'яного вугілля. Використовується переважно як паливо та відновник у металургійній промисловості.

Залежно від сировини розрізняють такі види коксу:

Кам'яновугільний кокс — твердий пористий продукт сірого кольору (пористість 49–53 %), що містить 96–98 % вуглецю. Застосовується як бездимне паливо у металургії, зокрема при виплавці чавуну, де також виконує роль відновника залізної руди.

Електродний пековий кокс — використовується у виробництві графітових електродів.

Нафтовий кокс — тверда пориста речовина темно-сірого або чорного кольору, що утворюється в результаті коксування (прожарювання) важких нафтових залишків.

Голчатий кокс — один з типів коксу з виключно високою графітизовністю, яка є наслідком паралельної орієнтації шарових структур та особливої фізичної форми зерен. Виготовляється з чистої, високоароматичної сировини без гетероатомів і твердих домішок.

Кальцинований кокс — нафтовий або вугільний смоляний кокс, що утворюється в результаті термічної обробки «зеленого» коксу при температурі приблизно 1600 К. Зазвичай містить менше 0,1 % водню. Є основною сировиною для виробництва полігранулярного вуглецю та графіту (наприклад, вугільних або графітових електродів).

Відповідно до міжнародних стандартів, передбачено методику визначення насипної маси коксу у малих (об'ємом 0,2 м³) та великих контейнерах. Під час завантаження контейнерів коксом висота падіння шматків не повинна перевищувати 250 мм. Видаляються надмірно великі шматки коксу, які перешкоджають вільному переміщенню планки по верхній частині контейнера.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Випробування у малому барабані. Циліндр барабана виготовляється зі сталевого листа товщиною не менше 5 мм. Внутрішній діаметр барабана становить 1000 ± 5 мм. Усередині барабана на однаковій відстані один від одного (через 90°) приварені чотири кутники розміром $100 \times 50 \times 10$ мм. Полиця довжиною 100 мм орієнтована до центру, а полиця довжиною 50 мм — у напрямку, протилежному до обертання барабана. Допустиме зношення полиці — не більше ніж до 95 мм.

Завантаження виконується через люк розміром 600×500 мм, який щільно закривається кришкою. У барабанах типу «Коксохіммаш» (відповідно до ГОСТ 5953–72) передбачено автоматизацію відкривання/закривання кришки, завантаження/вивантаження коксу та очищення барабана.

Для випробування готується проба масою $50 \pm 0,5$ кг з попередньо просіяного коксу фракцій:

- 25–40 мм,
- 40–60 мм,
- 60–80 мм,
- понад 80 мм.

Пропорції класів відповідають розподілу фракцій у партії.

Барабан обертається зі швидкістю 25 ± 1 об/хв. Після 100 обертів барабан автоматично зупиняється. Отриманий продукт просівають на ситах із розмірами отворів: 80×80 , 60×60 , 40×40 , 25×25 , 10×10 мм. Для фракції < 25 мм допускається ручне просіювання. Зважування кожного класу здійснюється з точністю до 0,1 %. Втрати додаються до класу < 10 мм.

Показники міцності коксу: M_{10} — вихід фракції < 10 мм (%): характеризує стираність коксу, M_{25} — вихід фракції > 25 мм (%): показує механічну стійкість до подрібнення.

Випробування у великому барабані. Великий барабан (типу Сундгрена) — це циліндр діаметром 2 м, висотою 800 мм, виготовлений з 8-мм котельного заліза. Днища з'єднані 125 стрижнями діаметром 25 мм із зазором 25 мм. Об'єм завантаження — 410 кг.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Барабан обертається з частотою 10 об/хв. Протягом 15 хв (150 обертів) кокс проходить випробування. Після зупинки визначають «провал», просіюючи його через сита з отворами 25×25 та 10×10 мм.

Показники, що фіксуються:

- маса залишку в барабані (основний показник міцності),
- маса фракції 0–10 мм (висока стиранисть),
- маса фракції 10–25 мм (середня міцність).

Визначення питомого електричного опору коксу. Питомий електричний опір (ПЕО) є важливим критерієм для оцінки якості вуглецевих відновників, які застосовуються в електротермічних процесах.

За даними Г. М. Макарова і Ю. Я. Філоненка, для коксу, придатного до електротермічних виробництв, ПЕО має бути $>2500 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$.

ПЕО враховується також у таких випадках:

- для електродного виробництва (кам'яновугільний, пековий кокс, антрацит, термоантрацит),
- для оцінки ступеня готовності коксу,
- як показник бездимності побутового палива.

Методи визначення ПЕО:

- двозондовий метод – це точний метод для порошкових зразків; усуває вплив контактного опору між зразком і електродами.
- чотиризондовий метод, який застосовується для грудкового коксу.

Принцип двозондового методу полягає в тому, що через циліндричний зразок, розташований між стискаючими електродами, пропускається електричний струм. На певній відстані від основних електродів розташовують два потенційні зонди. Напруга між ними вимірюється компенсаційним методом за допомогою потенціометра.

1.2 Дослідження характеристик сировини, реагентів і отриманої продукції

Для коксування можуть використовуватись такі види важких нафтових залишків і проміжних продуктів:

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

- гудрон — залишковий продукт атмосферно-вакуумної перегонки нафти;
- важкий газойль каталітичного крекінгу — фракція з високою концентрацією ароматичних і смолистих сполук;
- асфальти та екстракти виробництва олив — залишки після екстракційного очищення мастильних фракцій;
- смола піролізу — побічний продукт процесу термічного розкладу вуглеводнів.

У процесі коксування залишкової нафтової сировини утворюється кілька цінних продуктів, кожен із яких має своє технологічне й промислове значення.

Насамперед формується нафтовий кокс — твердий вуглецевий залишок, який залишається після термічного розщеплення великих молекул вуглеводнів. Цей матеріал є надзвичайно цінним для промисловості. Його використовують при виготовленні електродів у таких галузях, як алюмінієва, магнієва, хлорна та сталеплавильна промисловість. Окрім того, нафтовий кокс застосовується в ядерній енергетиці, електротехніці, радіотехніці, а також як відновник у процесах металургії.

Паралельно з утворенням коксу виділяється вуглеводневий газ — це суміш насичених і ненасичених вуглеводнів, яка після охолодження і часткового конденсації направляється на газофракціонуючу установку для подальшої переробки.

Ще одним важливим продуктом є бензин коксування. Він має октанове число в межах 60–66 одиниць, що свідчить про його низьку хімічну стабільність. Такий бензин не може безпосередньо використовуватися як моторне паливо, проте цінний як компонент для низькооктанових бензинів або як сировина для подальшого каталітичного риформінгу чи гідроочищення.

Також у процесі утворюється легкий газойль, за своїм складом близький до дизельного палива. Його цетанове число становить 40–45 одиниць. Легкий газойль широко використовується як компонент дизельного палива і газотурбінних сумішей, а також як сировина для гідроочищення та депарафінації.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окрім того, отримують важкий газойль, який відрізняється більш високою температурою застигання — від 10 до 15 °С. Його застосовують як сировину для установок каталітичного крекінгу або гідроочищення. У деяких випадках його також змішують із котельним паливом для енергетичних потреб.

Установки коксування — це складні й високопродуктивні комплекси безперервної дії. Вони базуються на технології трубчастої перегонки, але мають свої конструктивні особливості.

Основним елементом установки є трубчаста піч, у якій сировина нагрівається до температур, необхідних для термічного розщеплення. Далі підігріта нафтовмісна сировина під тиском понад 1,0 МПа подається насосом у фракційну колону, де відбувається її подальший розподіл на окремі фракції. Пари легких компонентів, включаючи бензин, піднімаються у верхню частину колони, де охолоджуються у конденсаторі.

Після конденсації бензинові фракції проходять через відстійник, де від них відокремлюється вода. Далі очищений бензин перекачується до резервуарів для зберігання. Залишки газів, які не підлягають конденсації, накопичуються в газгольдерах.

Відбір інших фракцій — легкого і важкого газойлів — здійснюється з відповідних зон по висоті колони. Найважчий залишок, який не випарувався (мазут), накопичується на дні і або направляється на подальшу переробку, або зберігається в приймальних резервуарах.

Продуктивність таких установок може сягати понад 2000 тонн нафти на добу, що забезпечує безперебійне постачання великої кількості нафтопродуктів для різних галузей.

Фракції, отримані в результаті перегонки, після відповідної обробки (очищення, стабілізації, гідроочищення) можуть бути використані як товарні нафтопродукти — палива, мастильні матеріали, сировина для вторинної переробки — риформінг, крекінг, алкілування тощо.

Існує три основні способи перегонки нафти: з однократним, багаторазовим і поступовим випаровуванням.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Перегонка з однократним випаровуванням передбачає нагрівання нафти до певної температури, за якої всі компоненти, здатні перейти в парову фазу, випаровуються одночасно. Багаторазове випаровування здійснюється в кілька етапів із поетапним підвищенням температури. На кожному етапі виділяються фракції, відповідно до їхніх температур кипіння. Поступове випаровування зазвичай застосовується в лабораторних умовах для максимально точного розділення нафти на численні вузькі фракції. Недоліком цього методу є низька продуктивність.

Пряма перегонка нафти виконується для виділення фракцій із різними температурами кипіння без їх термічного розкладу. Її проводять у кубових або трубчастих установках — при атмосферному, підвищеному або зниженому (вакуумному) тиску.

Трубчасті установки мають переваги над кубовими, зокрема нижча температура перегонки; зменшене термічне розкладання вуглеводнів; вищий коефіцієнт корисної дії.

Завдяки цим перевагам трубчасті установки є стандартом на сучасних нафтопереробних заводах. Вони забезпечують як випуск товарних нафтопродуктів, так і сировини для вторинної переробки — термічного та каталітичного крекінгу, риформінгу тощо.

У промисловості нафту переганяють на безперервно діючих трубчастих установках. До складу таких установок входять трубчаста піч для нагрівання сировини; ректифікаційні колони для конденсації й поділу парової суміші; резервуарний парк для зберігання отриманих фракцій.

Трубчаста піч — це спеціальне приміщення, футероване вогнетривкою цеглою. В середині неї розміщений сталевий трубопровід складної конфігурації, довжиною до 1 км. У процесі роботи заводу нафта безперервно подається насосом через труби зі швидкістю до 2 м/с. Обігрів печі здійснюється за допомогою мазуту, що подається через форсунки й згоряє у вигляді полум'я. Нафта нагрівається до 350–370 °С, при цьому легкі фракції випаровуються.

Оскільки нафта — це суміш вуглеводнів із різними температурами кипіння, її перегонка дозволяє виділити окремі продукти:

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

- бензин — 90–200 °С,
- лігроїн — 150–230 °С,
- гас — до 300 °С,
- легкий газойль (солярове масло) — 230–350 °С,
- важкий газойль — 350–430 °С,
- мазут (залишок) — вище 430 °С.

Мазут піддають додатковій обробці у вакуумі для отримання мастильних матеріалів. Вакуум знижує температуру кипіння компонентів і запобігає їхньому розкладу.

У процесі однократного випаровування нафту нагрівають у теплообміннику (змійовику) до заданої температури. У результаті утворюється парорідинна суміш, що надходить в адіабатичний випарник — порожнисту вертикальну ємність, у якій пари відділяються від рідини. Обидві фази мають однакову температуру.

Багаторазове випаровування — це комбінація декількох одноразових процесів, кожен з яких проходить при вищій температурі, ніж попередній.

Точність розділення на фракції при однократному випаровуванні нижча, ніж при багаторазовому чи поступовому. Проте цей метод є дешевшим і дозволяє за температури 350–370 °С отримати більшу кількість парової фази. З метою виділення фракцій з вищими температурами кипіння використовують вакуум або водяну пару.

Застосування однократного випаровування у поєднанні з ректифікацією парової та рідкої фаз у промислових умовах дозволяє досягти достатньої точності розділення, безперервності процесу й ефективного використання палива для нагрівання сировини.

Під час первинної перегонки нафти відбуваються виключно фізичні процеси. Від сирової нафти відокремлюються легкі фракції, які киплять при відносно низьких температурах. При цьому самі вуглеводні не зазнають змін у своїй хімічній структурі. Вихід бензину на цьому етапі становить лише 10–15%, що є недостатнім для задоволення зростаючого попиту, особливо з боку авіаційного та автомобільного транспорту.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На відміну від первинної перегонки, крекінг супроводжується хімічними перетвореннями. У процесі цієї вторинної переробки змінюється структура вуглеводнів — відбувається їх розщеплення на сполуки з меншою молекулярною масою. Це дозволяє суттєво підвищити вихід бензину — до 65–70% — за рахунок переробки важких фракцій, зокрема мазуту.

Термін «крекінг» (від англ. *crack* — розщеплювати) позначає процес розщеплення великих молекул вуглеводнів на менші. Цей метод було вперше запропоновано інженером В. Г. Шуховим у 1891 році, а згодом впроваджено у промисловість США в 1913 році.

Крекінг проводиться при високих температурах — до 600 °С, іноді під підвищеним тиском. За таких умов великі молекули органічних речовин розпадаються на менші — саме з них формуються такі легкі продукти, як бензин, гас, лігроїн.

Устаткування для крекінгу подібне до того, що використовується при звичайній перегонці: печі, ректифікаційні колони тощо. Втім, процес переробки має інші параметри, і як сировину використовують мазут.

Мазут — залишок після первинної перегонки — це густа, важка рідина з питомою вагою, близькою до одиниці. Його склад представлений великими й складними молекулами вуглеводнів. Під час крекінгу ці молекули розщеплюються на менші, з яких і утворюються легкі нафтопродукти.

Важливою частиною підготовки нафти до переробки є її сортування та змішування. Різні типи нафти та їх фракції мають відмінності у фізико-хімічних і споживчих характеристиках. Наприклад бензинові фракції одних сортів нафти можуть бути багаті на ароматичні, нафтеніві чи ізопарафінові вуглеводні — вони мають високе октанове число; інші сорти нафти можуть містити переважно парафінові вуглеводні, які мають низькі октанові характеристики.

До важливих показників також належать сірчистість, смолистість, мастильні властивості та інші параметри, що впливають на подальшу переробку й якість кінцевих продуктів.

У процесі транспортування, зберігання й обробки нафти необхідно зберігати її якісні характеристики. Проте роздільне видобування й зберігання нафти з різних

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

510 °С. Щоб зменшити коксоутворення в трубах печі та підвищити швидкість потоку, у змішувачі також подають перегріту водяну пару температурою 400–450 °С. Нагріта вторинна сировина подається в реактор, де під впливом високої температури та часу перебування відбувається термічне розщеплення високомолекулярних сполук на газоподібні продукти, легкі та важкі газойлі.

Внаслідок цього процесу утворюється твердий залишок — кокс, що поступово накопичується в реакторі. Газоподібні продукти подаються в нижню частину ректифікаційної колони для подальшої сепарації.

Колона поділяється на дві функціональні частини:

- верхня частина (з ковпачковими тарілками): виконує розподіл продуктів на окремі фракції;
- нижня частина (з каскадними тарілками): слугує для регенерації вторинної сировини.

Продукти коксування піднімаються у верхню частину колони, де поділяються на:

- газобензиноводну суміш (верхній продукт);
- легкий газойль (бічна фракція);
- важкий газойль (нижча бічна фракція).

Газобензиноводна суміш частково конденсується і охолоджується у водяному холодильнику, після чого надходить до сепаратора, де розділяється на:

- вуглеводневий газ (передається на газофракційну установку);
- бензин (частково повертається до колони як гостре зрошення, решта — на стабілізацію);
- воду (відводиться в каналізацію).

Легкий і важкий газойлі подаються до додаткової колони, де з них відокремлюються легкі фракції, після чого газойлі виводяться з установки як готові продукти.

У процесі роботи реактор поступово заповнюється коксом:

- при роботі на крекінг-залишку — за 13–18 годин;
- при роботі на гудроні — за близько 24 години.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Реактор заповнюється на 80%, після чого відключається від подачі сировини, проводиться пропарювання для десорбції залишків нафти, а потім — охолодження водою перед механічним або гідравлічним видаленням коксу.

Процес вивантаження коксу з реактора починається з відкривання нижньої кришки. Далі в реактор подається вода під високим тиском — близько 15–20 МПа — за допомогою спеціальних різаків. Потужні струмені води розрізають затверділий кокс на менші фрагменти, що дає змогу ефективно його видалити.

Після завершення вирізки кокс залишає реактор, який знову герметично закривають. Для підготовки до наступного циклу реактор спочатку пропарюють водяною парою, а потім продувають газоподібними продуктами з працюючого реактора. У результаті цих дій температура всередині підвищується до 150–180 °С. Лише після цього реактор знову переводиться в режим подачі сировини для чергового циклу роботи.

На подібних установках, як правило, використовується від двох до чотирьох реакторів, що дозволяє організувати безперервний технологічний процес.

1.4 Вибір і обґрунтування параметрів управління

Основними параметрами, які впливають на вихід і якість потоків коксування є такі:

Таблиця 1.1 - Основні параметри технологічного процесу

№ п/п	Параметр	Межі контролю і регулювання	Примітка
1	Якість сировини, %		
	Коксівність	10-20	Контроль
2	Температура		
	Входу сировини	480-510	Регулювання
3	Тиск		
	В реакторі	0,35-0,4	Регулювання

1.4.1 Якість сировини

Найбільш цінним кінцевим продуктом у даному процесі є кокс, тому при виборі сировини першочергово враховується її здатність до утворення якісного коксу. Важливим показником у цьому контексті є коксівність — оптимальним вважається її значення в межах 10–20% масових.

Якщо коксівність нижча за цей діапазон, вихід коксу є надто малим, що знижує економічну ефективність процесу. Натомість при надто високій коксівності виникають технологічні ускладнення: відбувається інтенсивне закоксування трубних змійовиків, що призводить до погіршення умов роботи контрольно-вимірювальної апаратури та загального зниження надійності системи.

Найбільш придатною сировиною для отримання якісного коксу вважаються мазути та гудрони. Їх використання дозволяє не лише підвищити вихід цінних продуктів, таких як газ, бензин і газоіль, але й зменшити кількість утвореного коксу при одночасному покращенні його якості.

Контроль якості сировини в процесі здійснюється за показником коксівності, який слугує основним критерієм її придатності.

1.4.2 Температура входу сировини в реактор

Температура входу сировини в реактор є одним із ключових параметрів, що визначає ефективність та безпечність роботи установки. При знижених температурах на вході реактора спостерігається зменшення виходу газу та бензину, тоді як кількість газоїлів у продукті зростає. Це пов'язано з тим, що за таких умов лише частина сировини піддається термічному розкладу з утворенням легких вуглеводнів. Особливо небезпечним є зниження температури нижче 480 °С — у такому випадку може відбутися викид спіненої маси з реактора в основну колону. Наслідком цього стає забивання коксовими частинками елементів колони та насосного обладнання, що може спричинити аварійну зупинку всієї установки.

Підвищення температури сприяє покращенню результатів переробки: збільшується вихід бензину й газу, а також підвищується октанове число бензину, що поліпшує його якість. Крім того, зростання температури позитивно впливає на властивості коксу — він стає більш щільним, однорідним, з кращими механічними

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

характеристиками. Водночас надмірне підвищення температури, особливо понад 510 °С, спричиняє інтенсивне закоксування трубних змійовиків печі, що обмежує можливість подальшого нагріву та підвищує ризики порушення безпеки.

Регулювання температури сировини на вході до реактора здійснюється за рахунок зміни кількості палива, яке подається до печі, що забезпечує необхідний рівень нагріву з урахуванням оптимальних технологічних меж.

1.4.3 Тиск в реакторі

Тиск у реакторі є одним із найважливіших параметрів, що суттєво впливає як на якість, так і на вихід продуктів коксування. Його зміна здатна суттєво змінити співвідношення між газоподібними, рідкими та твердими продуктами реакції.

Зниження тиску спричиняє інтенсивніше випаровування сировини, через що подальше її розкладання відбувається переважно в паровій фазі. Це призводить до зростання кількості газоподібних продуктів, водночас вихід твердого залишку — коксу — зменшується. У протилежному випадку, при підвищенні тиску випаровування сировини уповільнюється, що сприяє розвитку вторинних реакцій у рідкій фазі, результатом яких є збільшення кількості утвореного коксу.

Окрім цього, тиск безпосередньо впливає на швидкість руху парів у реакторі. Оптимальне значення цієї швидкості має становити в межах 0.15–0.2 м/с. Якщо цей параметр перевищено, виникає ризик винесення дрібнодисперсних частинок коксу разом із газоподібними продуктами, що призводить до забивання апаратури — зокрема, основної колони та пічних насосів.

Залежно від бажаного результату, обираються різні режими тиску. Для отримання максимальної кількості рідких фракцій технологічний процес ведуть при тиску 0.18–0.2 МПа. Якщо ж мета — одержання більшої кількості коксу, тоді доцільно проводити процес при підвищеному тиску в межах 0.35–0.4 МПа.

Контроль і регулювання тиску в реакторі здійснюється автоматично за допомогою регулюючих клапанів, установлених на лінії відведення газоподібних продуктів із реактора. Це дозволяє підтримувати стабільні умови роботи та уникати аварійних ситуацій.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

1.4.4 Час перебування сировини в реакторі

Час перебування сировини в реакторі є важливим чинником, що безпосередньо впливає на якість утвореного коксу. Якщо сировина знаходиться в реакторі надто короткий час — менше ніж 13 годин — процес термічного розкладання залишається незавершеним. У результаті цього замість повноцінного коксу утворюється маса, яка за своїми властивостями є проміжною між бітумом і коксом. Такий продукт має недостатню щільність, гірші механічні характеристики та знижене значення для подальшого використання.

Що стосується парової фази, вона перебуває в реакторі значно коротший проміжок часу — лише близько 0.4–1.2 хвилини. Через це тривалість процесу практично не впливає на якість газоподібних продуктів, адже основні реакції в паровій фазі відбуваються миттєво. Таким чином, для досягнення якісного виходу твердих залишків — коксу — необхідно забезпечити достатній час перебування сировини в реакторі, тоді як на склад газоподібної фракції цей параметр майже не впливає.

1.4.5 Коефіцієнт рециркуляції

Коефіцієнт рециркуляції характеризує співвідношення між загальною масою сировини, що надходить у реактор, і кількістю свіжої сировини в цьому потоці. Іншими словами, він показує, яку частку потоку становить рециркульована речовина — тобто та, що вже один раз пройшла обробку й повертається назад у реактор.

Цей показник суттєво впливає на ефективність та результати процесу. При збільшенні коефіцієнта рециркуляції підвищується вихід таких цінних фракцій, як бензин і газ, у той час як об'єм газойлю зменшується. Одночасно поліпшуються фізико-хімічні властивості коксу — він стає щільнішим, одноріднішим і міцнішим. Водночас збільшується об'єм важких фракцій, що може призвести до зниження октанового числа бензину.

Регулювання коефіцієнта рециркуляції здійснюється шляхом зміни кількості охолоджуючого агента, який вводиться в нижню частину основної

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

ректифікаційної колони. В якості такого агента можуть використовуватись бензин, газойль або гудрон. Чим важча за складом охолоджуюча речовина, тим більший коефіцієнт рециркуляції, адже до реактора повертається більше компонентів, схильних до подальших хімічних перетворень.

Висновки до розділу

У роботі розглянуто технологічний процес сповільненого коксування, який застосовується для переробки коксувального вугілля з метою отримання високоякісного коксу. Цей процес дає змогу сформувати кінцевий продукт із заданими фізико-хімічними характеристиками, що відповідають вимогам металургійної та хімічної галузей.

Особливу увагу приділено вивченню властивостей сировини — коксувального вугілля, а також реагентів і кінцевої продукції. Проаналізовано вміст вологи, сірки, золи та інших домішок у сировині, що істотно впливають на якість отриманого коксу. Окремо розглянуто основні показники коксу, такі як щільність, механічна міцність, зольність і вміст летких речовин.

Проведено ґрунтовний аналіз самого технологічного процесу сповільненого коксування. Визначено основні параметри, що підлягають контролю та регулюванню в процесі, зокрема температура, тиск, тривалість коксування й склад сировини. Обґрунтовано вибір параметрів управління, оскільки їх коректна підтримка безпосередньо впливає на стабільність процесу, якість продукції та загальну ефективність виробництва. Таким чином, питання автоматизації процесу набуває особливої актуальності в контексті підвищення технологічної точності, енергоефективності та економічної доцільності виробництва.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

2 МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

2.1 Побудова структурної схеми об'єкта дослідження

Для дослідження процесу сповільненого коксування, повне математичне моделювання всієї установки є надзвичайно складним і ресурсоємним завданням через велику кількість взаємопов'язаних змінних і параметрів. З метою спрощення аналізу доцільно зосередити увагу на вивченні окремого, але критично важливого елемента технологічної системи — реактора. Саме цей вузол визначально впливає на параметри і якість кінцевої продукції, зокрема коксу.

Детальний аналіз динаміки і функціонування реактора дозволяє виділити основні керовані параметри, визначити структуру взаємозв'язків між вхідними та вихідними сигналами, а також сформулювати модель об'єкта керування. На основі зібраної інформації побудовано структурну схему реактора як об'єкта автоматичного регулювання, яка подана на рисунку 2.1. Ця схема слугує вихідною точкою для подальшого синтезу системи автоматичного керування та розробки її програмно-апаратної реалізації.

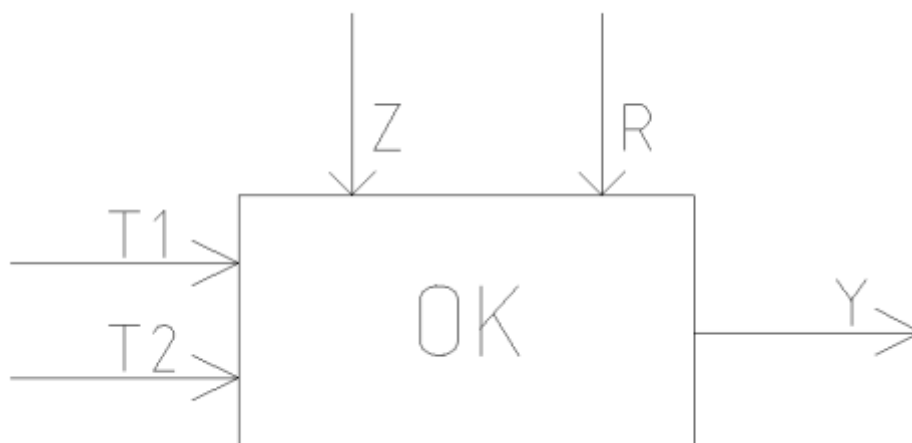


Рисунок 2.1 – Структурна схема об'єкта керування

На даному рисунку $T1$ представляє температуру на вході; $T2$ відображає тиск у реакторі; Y описує вихідні показники об'єкта; Z відображає сумарні збурення; та R відповідає за регулюючу дію.

2.2 Дослідження об'єкта керування

Для визначення динамічних характеристик об'єкта регулювання широко застосовують як методи математичного моделювання технологічного процесу, так і експериментальні підходи, зокрема шляхом фіксації кривої розгону системи у відповідь на одиничний збурювальний вплив. Проте варто зазначити, що аналітичне моделювання складних об'єктів технології часто супроводжується значними спрощеннями або потребує численних припущень, що знижує точність отриманих моделей. З огляду на це, доцільним є використання експериментальних даних для побудови передавальної функції, яка дозволяє адекватно описати поведінку об'єкта у вигляді математичної залежності між вхідним і вихідним сигналами. Незважаючи на наявність похибок, які можуть виникати під час проведення експерименту або при подальшій апроксимації отриманих характеристик, ці відхилення є допустимими в межах інженерної практики і не впливають критично на точність подальших розрахунків.

Динамічні властивості об'єкта визначаються на основі аналізу перехідних процесів, отриманих експериментально. Використано криву розгону основного каналу керування (рис. 2.2) та допоміжного каналу (рис. 2.3). Експериментальні дані, подані у вигляді таблиць (табл. 2.1 — для основного каналу, табл. 2.3 — для допоміжного), підлягають приведенню до безрозмірної форми з метою подальшої ідентифікації моделі та визначення її передавальної функції.

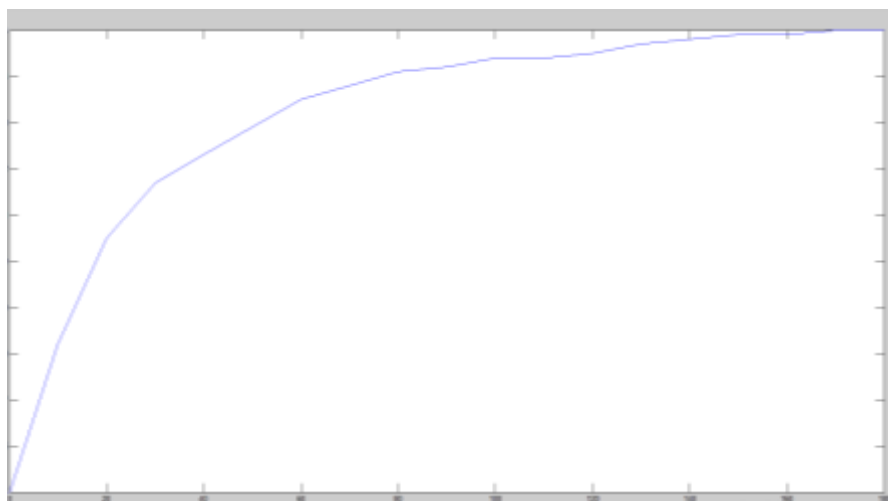


Рисунок 2.2 – Крива розгону отримана по основному каналу керування

Нижче наведено формули, що використовуються для переходу від розмірних одиниць до безрозмірних:

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$y = \frac{x-x_0}{x_{max}-x_0}, \quad (2.1)$$

де x_{max} , x , x_0 – максимальне, поточне, початкове значення параметру.

За допомогою графіка кривої розгону можна визначити, що максимальне значення x (температура) становить 510 °С, а початкове значення x_0 дорівнює 480 °С. На основі експерименту, проведеного для основного каналу, отримано результати наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Отримані значення по основному каналу

Час, с	Температура, °С
0	480
10	489,6
20	496,5
30	500,1
40	501,9
50	503,7
60	505,5
70	506,4
80	507,3
90	507,6
100	508,2
110	508,3
120	508,5
130	509,1
140	509,4
150	509,7
160	509,8
170	510
180	510

У ході дослідження було здійснено перетворення значень параметрів з розмірних одиниць у безрозмірну форму.

Для цього використовується нормалізаційна формула, яка враховує початкове та максимальне значення параметра. Поточне значення порівнюється з початковим, після чого ця різниця ділиться на різницю між максимальним і початковим значеннями. У результаті отримується безрозмірна величина, яка показує, наскільки змінюється параметр відносно свого початкового стану.

Таблиця 2.2 – Перевід до безрозмірних одиниць по основному каналу

Час, с	Температура, °С	Безрозмірні одиниці, у
0	480	0
10	489,6	0,32
20	496,5	0,55
30	500,1	0,67
40	501,9	0,73
50	503,7	0,79
60	505,5	0,85
70	506,4	0,88
80	507,3	0,91
90	507,6	0,92
100	508,2	0,94
110	508,3	0,94
120	508,5	0,95
130	509,1	0,97
140	509,4	0,98
150	509,7	0,99
160	509,8	0,99
170	510	1
180	510	1

Для визначення передавальної функції об'єкта використовується апроксимація експериментальної перехідної характеристики за допомогою програмного середовища Matlab. Такий підхід дозволяє отримати математичну модель, яка точно відображає динамічну поведінку системи.

Після виконання процедури апроксимації формується передавальна функція, що надалі використовується для імітаційного моделювання, розрахунків та дослідження системи керування. Цей метод дозволяє замінити складні експериментальні криві на спрощені, але точні математичні моделі з мінімальними похибками, що забезпечує ефективність при аналізі, синтезі та оптимізації автоматизованих систем.

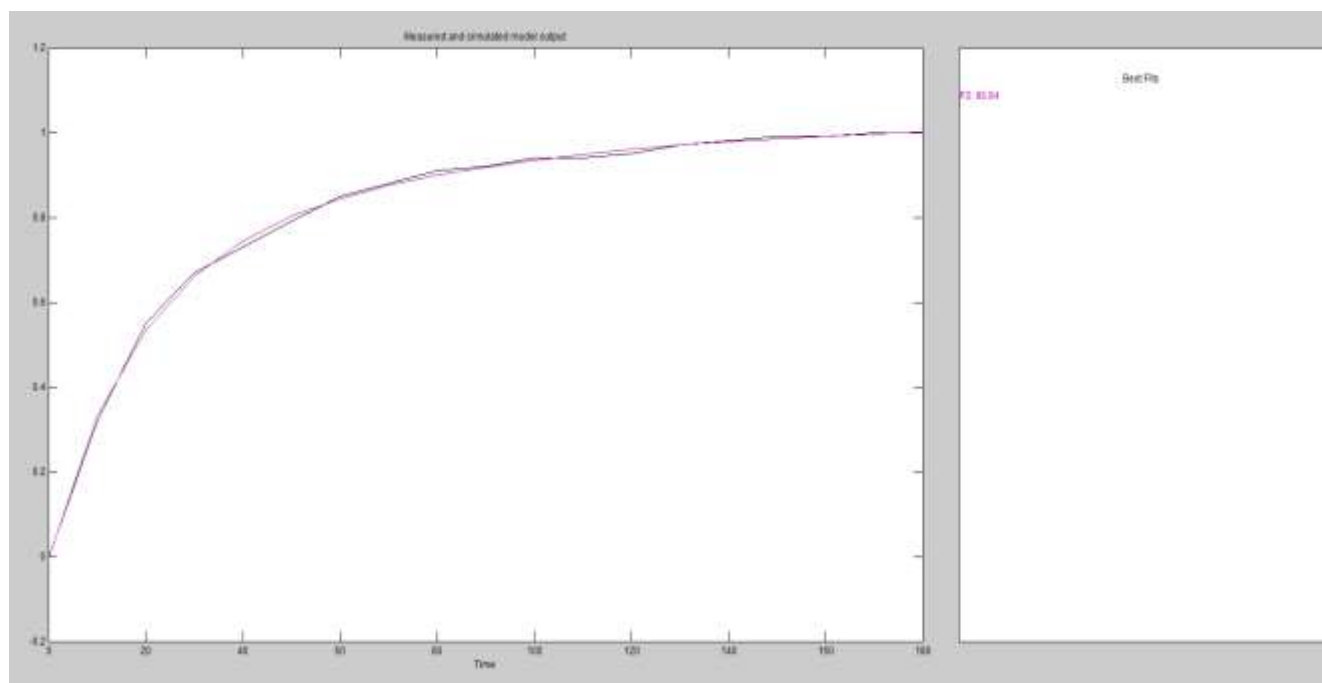


Рисунок 2.3 – Результат виконання програми для основному каналу

Після виконання програми отримуємо передавальну функцію для основного каналу. Ця передавальна функція описує співвідношення між вхідними і вихідними сигналами системи. Вона дозволяє нам аналізувати та прогнозувати поведінку основного каналу відповідно до вхідних змін.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$W(p) = \frac{1.0295}{(1 + 67.229p)(1 + 16.906p)}$$

Так само також аналізуємо динамічну характеристику для допоміжного каналу. На рисунку 2.4 представлена експериментальна перехідна характеристика для цього каналу.

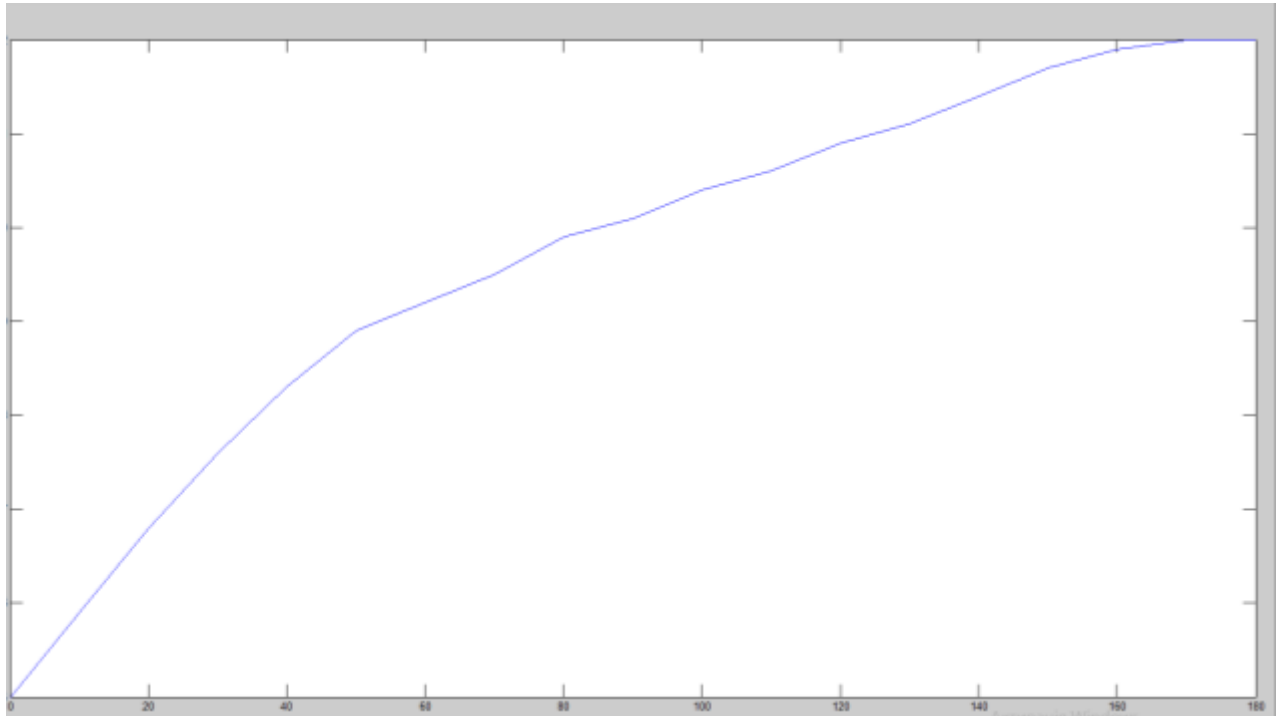


Рисунок 2.4 – Крива розгону отримана по допоміжному каналу керування

Крива розгону отримана по допоміжному каналу керування

Формули переходу від розмірних одиниць до безрозмірних мають наступний вигляд:

$$y = \frac{x - x_0}{x_{max} - x_0}, \quad (2.1)$$

де x - поточне значення температури, °С;

x_0 - початкове значення температури, °С;

x_{max} - максимальне значення температури, °С;

З графіка кривої розгону бачимо, що $x_{max} = 62$ °С, а початкове значення $x_0 = 55$ °С.

Таблиця 2.3 – Результати проведення експерименту по допоміжному каналу

Час, с	Тиск, МПа
0	0,3
10	0,356
20	0,363
30	0,369
40	0,3735
50	0,7785
60	0,38
70	0,38212
80	0,385
90	0,386425
100	0,38857
110	0,39
120	0,3921
130	0,39353
140	0,39571
150	0,39786
160	0,39929
170	0,4
180	0,4

Таблиця 2.4 – Перевід до безрозмірних одиниць по допоміжному каналу каналу

Час, с	Тиск, МПа	Безрозмірні одиниці, у
0	0,3	0
10	0,356	0,128571
20	0,363	0,257143
30	0,369	0,371429
40	0,3735	0,471429
50	0,7785	0,557143
60	0,38	0,6
70	0,38212	0,642857
80	0,385	0,7
90	0,386425	0,728571
100	0,38857	0,771429
110	0,39	0,8
120	0,3921	0,842857
130	0,39353	0,871429
140	0,39571	0,914286
150	0,39786	0,957143
160	0,39929	0,985714
170	0,4	1
180	0,4	1

Використавши програму Matlab, проведемо апроксимацію даної перехідної характеристики, для визначення передавальної функції об'єкта.

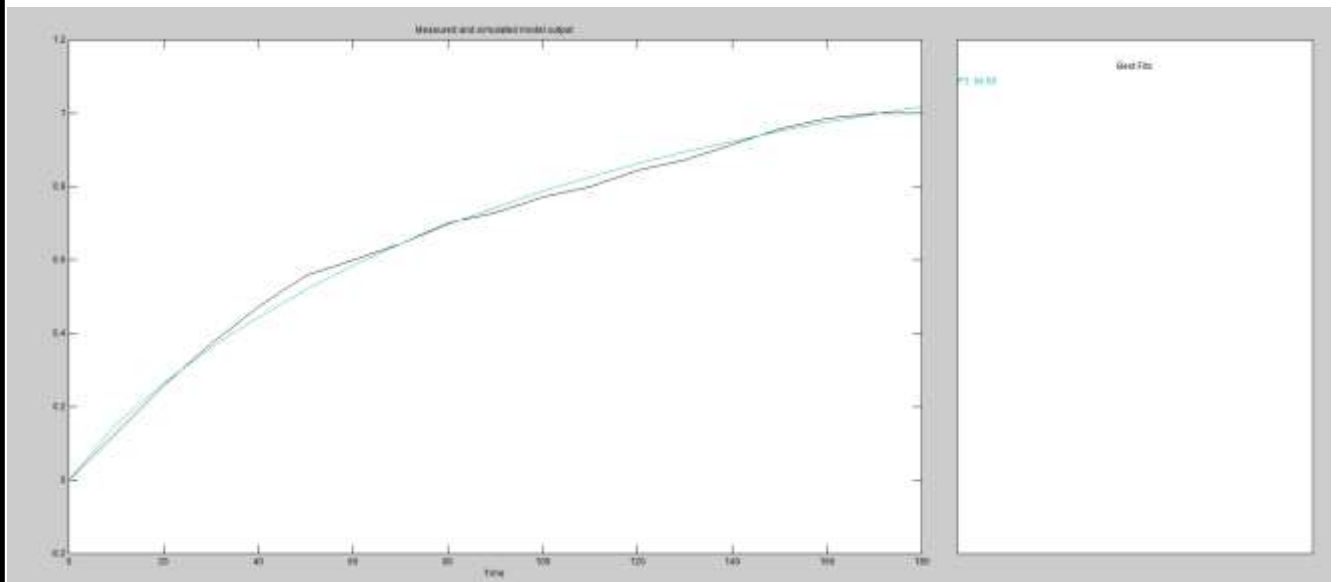


Рисунок 2.5 – Результат виконання програми для допоміжного каналу

В результаті виконання програми отримуємо таку передавальну функцію допоміжного каналу:

$$W(p) = \frac{1.2563}{(1 + 120.41p)(1 + 32.996p)(1 + 0.1931p)}$$

Висновки до розділу

У цьому розділі було здійснено математичне моделювання об'єкта керування, яким виступає реактор. З метою подальшого аналізу й синтезу системи автоматичного регулювання за допомогою програмного середовища MATLAB були визначені передавальні функції для основного та допоміжного каналів впливу.

Отримані математичні моделі є ключовим елементом при побудові ефективної системи керування. Вони слугують основою для подальшого проєктування регуляторів, що дозволяє забезпечити надійну, стабільну та оптимальну роботу технологічного процесу у змінних умовах експлуатації.

3 СТВОРЕННЯ ТА ПЕРЕВІРКА СТІЙКОСТІ ОДНОКОНТУРНОЇ ТА КАСКАДНОЇ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

3.1 Вибір регулятора

Автоматичне регулювання тісно пов'язане з динамічними властивостями об'єкта керування, характером зовнішніх збурень, а також із типом та правильним налагодженням регулятора. Для досягнення стабільної й ефективної роботи системи важливо не лише правильно вибрати тип регулятора, але й налаштувати його параметри відповідно до вимог закону регулювання.

Динамічні характеристики більшості об'єктів зазвичай встановлюють експериментально. Під час аналізу роботи технологічного обладнання визначається величина, яку потрібно регулювати, а також точка прикладання впливу від регулятора. Найчастіше регулятори встановлюються на лініях подачі енергії чи матеріалу до об'єкта або на виході з нього. При цьому об'єкти можуть бути стійкими із властивістю самовирівнювання або ж нейтральними, без такої властивості.

До прикладу, об'єкти регулювання рівня зазвичай описуються інтегруючими залежностями й належать до нейтральних. У таких випадках доцільно використовувати прості пропорційні регулятори, які забезпечують високу швидкодію. Проте їх основним недоліком є обмежена точність, особливо у випадках із великими часовими запізненнями.

Інші об'єкти, зокрема ті, що потребують підтримки тиску, витрати або температури, здебільшого мають здатність до самовирівнювання. Для них можливе застосування як простих пропорційних регуляторів, так і комбінованих – пропорційно-інтегральних (ПІ), пропорційно-диференціальних (ПД) або повних пропорційно-інтегрально-диференціальних (ПІД) регуляторів.

ПІД-регулятор поєднує в собі три основні компоненти керування: пропорційну, яка швидко реагує на поточну похибку; інтегральну, що усуває довготривалі відхилення та знижує статичну похибку; і диференціальну, яка враховує зміну похибки в часі, підвищуючи стійкість системи та зменшуючи

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

ймовірність перерегулювання. Завдяки цій гнучкості ПІД-регулятори широко застосовуються у складних системах автоматизації.

Для вибору типу регулятора та бажаного вигляду перехідного процесу використовуються спеціальні методики, які враховують допустимий рівень коливань, час регулювання та інші динамічні характеристики. Зазвичай у практиці автоматизації виділяють кілька типових форм перехідних процесів: аперіодичний процес з мінімальним часом регулювання, процес з допустимим перерегулюванням (до 20%) та процес із мінімальною середньоквадратичною площею відхилення.

У межах даної бакалаврської роботи для побудови системи автоматичного регулювання було обрано аперіодичний перехідний процес, який забезпечує найменший час регулювання без виникнення коливань. Такий підхід дозволяє досягнути високої точності, стабільності та швидкодії в системі керування реактором.

3.2 Проведення розрахунку оптимальних параметрів налаштування регулятора для одноконтурної автоматичної системи керування

Створення моделі системи в середовищі "MATLAB" для отримання параметрів налаштування.

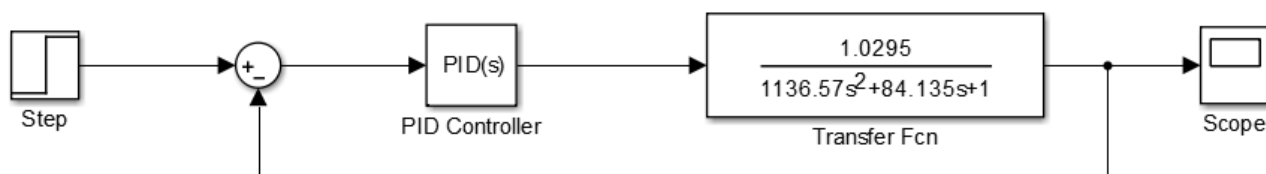


Рисунок 3.1 – Схема моделі системи в середовищі “MATLAB”

Налаштуємо ПІД-регулятор.

Час розгону рівний 82 с;

$$\text{Перерегулювання рівне } \Delta = \frac{1,0934-1}{1} * 100\% = 9.34\%;$$

Налаштування ПІ-регулятора.

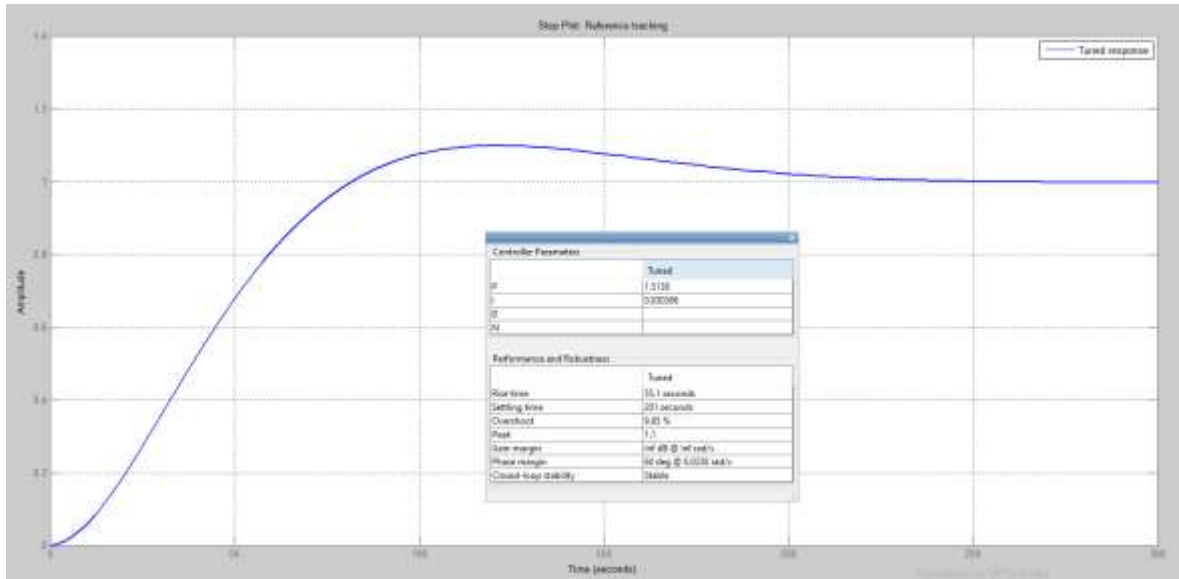


Рисунок 3.6 – Вихід системи з ПІ регулятором

Час перехідного процесу рівний 201 с;

Час досягнення першого максимуму рівний 110 с;

Час розгону рівний 77 с;

$$\text{Перерегулювання рівне } \Delta = \frac{1,0985-1}{1} * 100\% = 9,85\% .$$

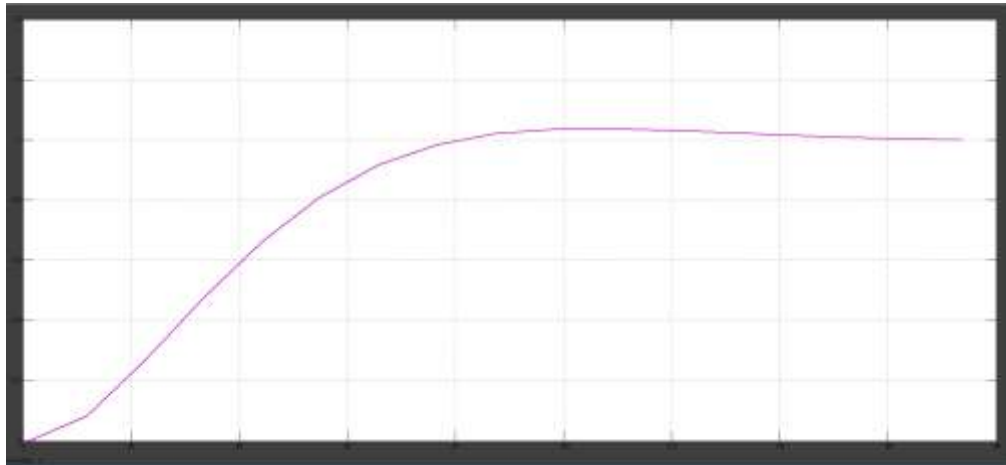


Рисунок 3.7 – Графік отриманий із блоку Score

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

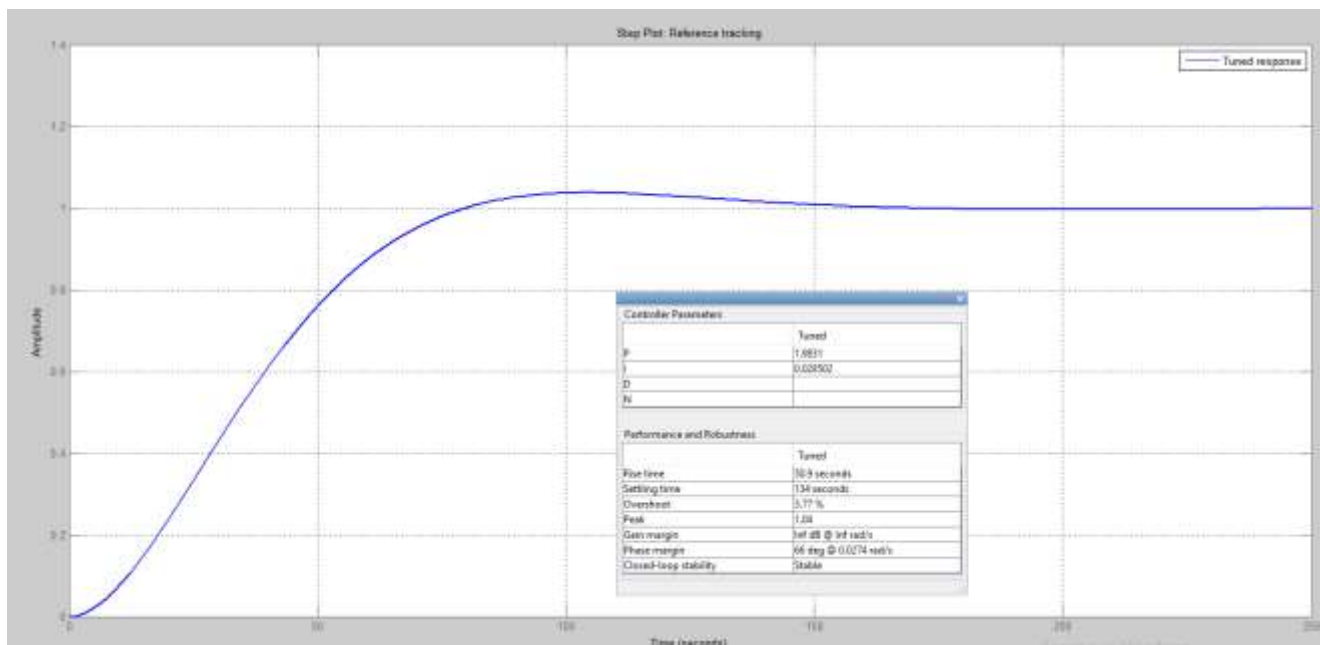


Рисунок 3.8 – Параметри налаштування при використанні ПІ-закону регулювання

У даному випадку оптимальним вибором виявився ПІ-регулятор. Його використання забезпечило стабільну роботу системи з мінімальними коливаннями та високою швидкістю, що вигідно вирізняє його серед інших типів регуляторів. Завдяки ретельному налаштуванню параметрів вдалося досягти ще кращих результатів – система стала більш точною й ефективною в умовах змінних збурень.

Загальний вигляд передавальної функції ПІ-регулятора (з MatLab):

$$P + I \frac{1}{s}$$

Для нашого випадку він матиме вигляд:

$$W_p(p) = 1.9821 + \frac{0.028502}{p}$$

3.3 Перевірка стійкості одноконтурної автоматичної системи керування

Щоб переконатися у стійкості одноконтурної автоматичної системи керування, спочатку визначають її еквівалентну передавальну функцію. Це дає змогу провести подальший аналіз стійкості за допомогою різних підходів, зокрема

методу коренів характеристичного рівняння, критерію Рауса-Гурвіца, критерію стійкості Ляпунова та інших. Такий аналіз є важливим етапом у процесі проектування систем автоматичного керування, оскільки саме стійкість гарантує надійність та безперебійну роботу системи навіть за наявності зовнішніх збурень або внутрішніх нелінійностей.

Знайдемо еквівалентну передавальну функцію.

$$W_{\text{РОЗ}}(p) = \frac{W_p(p) * W_o(p)}{1 + W_p(p) * W_o(p)} =$$

$$W_o(p) := \frac{1.0295}{1136.57 \cdot p^2 + 84.135 \cdot p + 1} \quad W_p(p) := 1.9821 + \frac{0.028502}{p}$$

$$\frac{W_p(p) \cdot W_o(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_o(p)} \rightarrow \frac{1.0295 \cdot \left(\frac{0.028502}{p} + 1.9821 \right)}{\left[\frac{1.0295 \cdot \left(\frac{0.028502}{p} + 1.9821 \right)}{84.135 \cdot p + 1136.57 \cdot p^2 + 1} + 1 \right] \cdot (84.135 \cdot p + 1136.57 \cdot p^2 + 1)}$$

Використаємо критерій Михайлова (також відомий як критерій Ніколса-Михайлова) - один із методів аналізу стійкості автоматичних систем керування. Він базується на використанні критерію модуляції і фазового запасу.

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$p^3 + 0.0740254p^2 + 0.00267522p + 0.000025817 = 0$$

Прирівнюємо до функції від p :

$$F(p) = p^3 + 0.0740254p^2 + 0.00267522p + 0.000025817.$$

Зробимо заміну замість $p \rightarrow j\omega$:

$$F(j\omega) = (j\omega)^3 + 0.0740254(j\omega)^2 + 0.00267522j\omega + 0.000025817 = (0.000025817 - 0.0740254\omega^2) + j(0.00267522\omega - \omega^3).$$

Отримуємо дійсну і уявну частини:

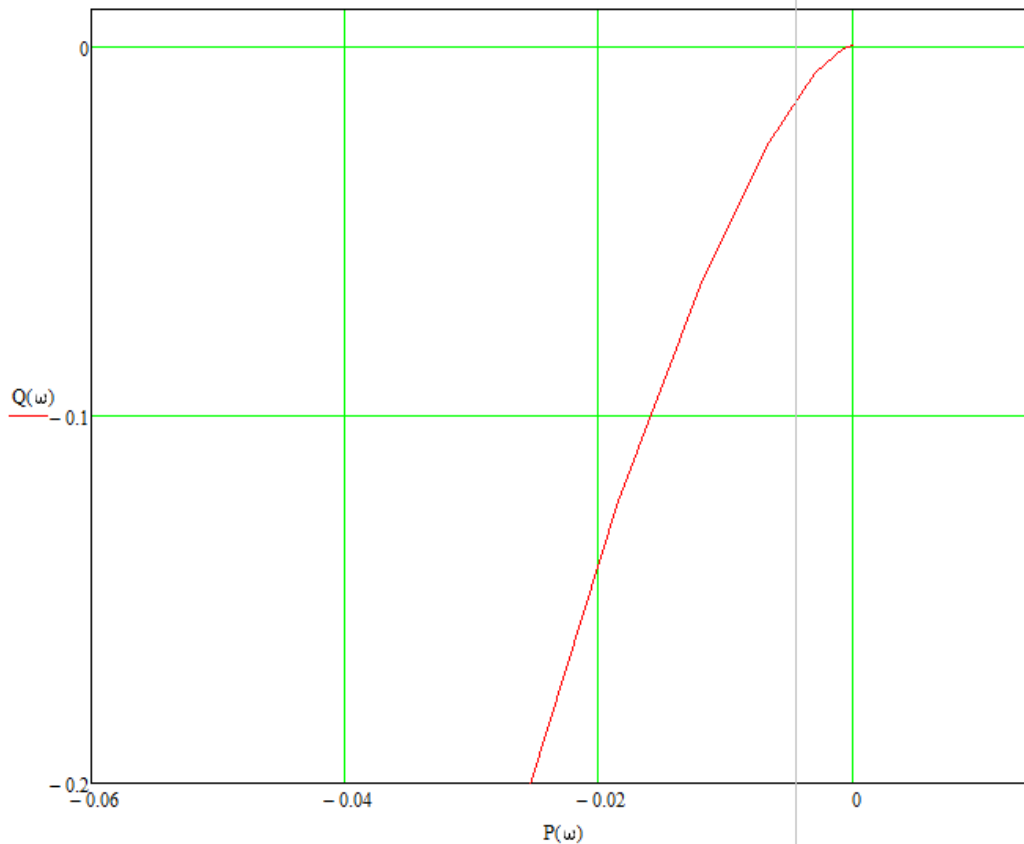
$$P(\omega) = 0.000025817 - 0.0740254\omega^2; \quad Q(\omega) = 0.00267522\omega - \omega^3,$$

і, змінюючи частоту ω побудуємо годограф Михайлова з використанням програмного продукту „MathCAD”

									Арк.
									40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$\omega := 0, 0.1.. 4$$

$$P(\omega) := 0.000025817 - 0.0740254 \cdot \omega^2 \quad Q(\omega) := 0.00267522 \cdot \omega - \omega^3$$



Якщо годограф системи починається на додатній осі та обходить n квадратів комплексної площини проти годинникової стрілки, це свідчить про стійкість системи. Годограф може мати різну форму та конфігурацію, але важливо, щоб він відповідав вищезгаданим критеріям для стійкості.

3.4 Виконання розрахунків оптимальних параметрів налаштування регулятора для каскадної АСК

Шляхом використання програми "MATLAB" можна отримати параметри налаштування для системи керування. Створена модель системи в середовищі "MATLAB" (рис.3.9).

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

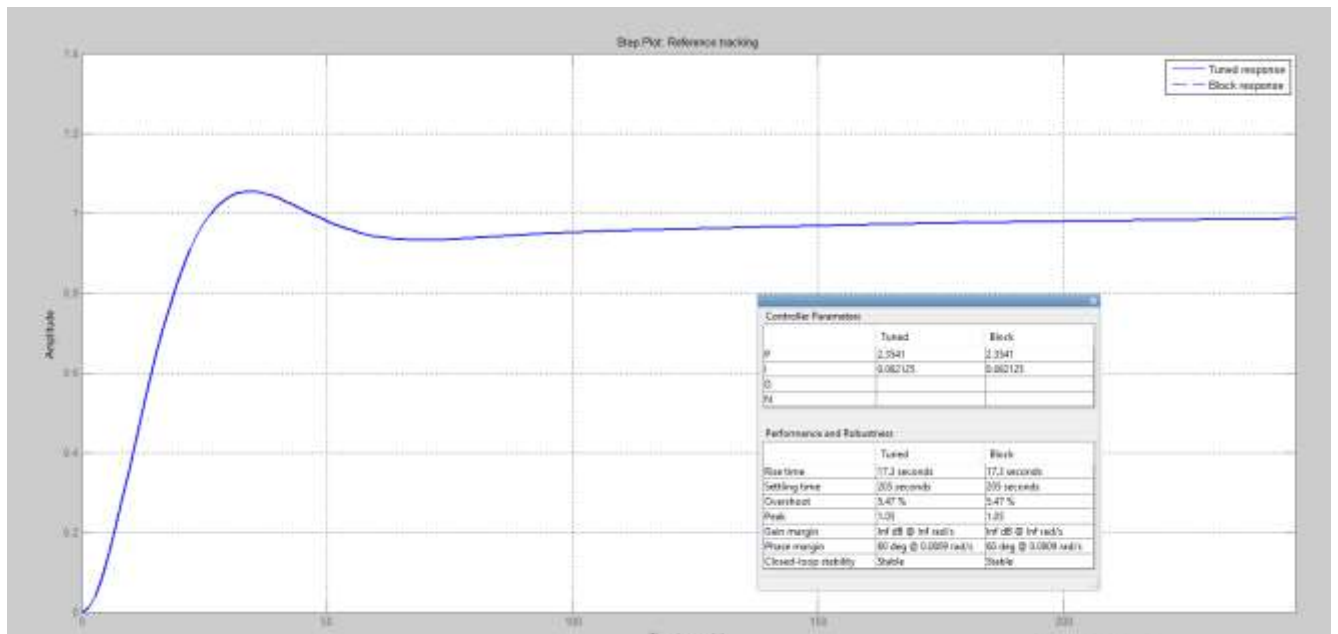


Рисунок 3.11– Графік перехідного процесу із застосуванням ПІ-регулятора (основний канал)

Одержали передавальну функцію основного регулятора:

$$Wop(p) = P + I \frac{1}{p} = 2.3541 + \frac{0.082125}{p}$$

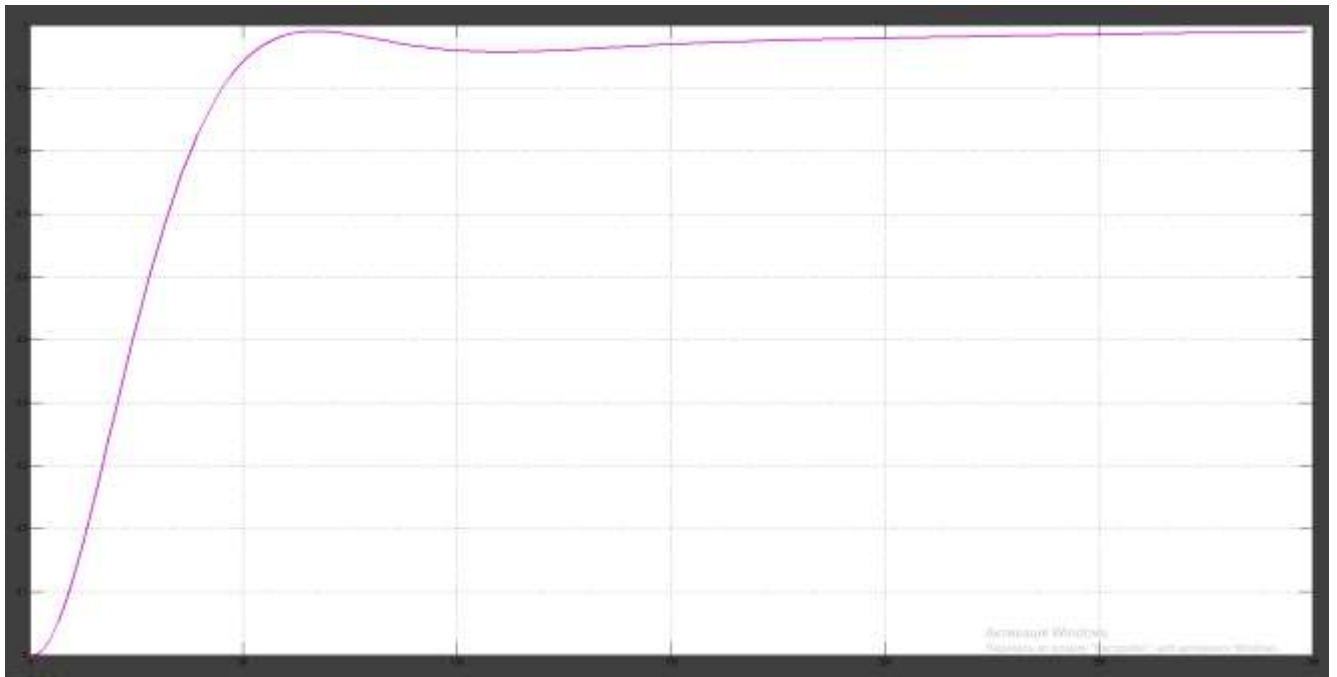


Рисунок 3.12– Графік перехідного процесу каскадної АСК

3.5 Дослідження стійкості каскадної АСК

Для дослідження стійкості системи знайдемо еквівалентну передавальну функцію:

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

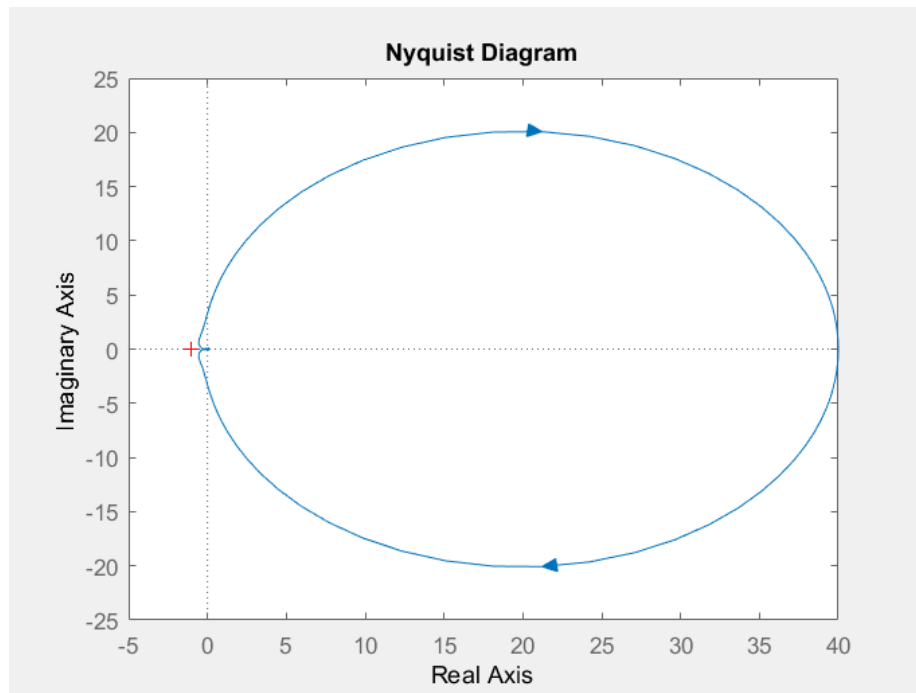


Рисунок 3.13– Діаграма Найквіста

Наблизимо в точці дослідження.

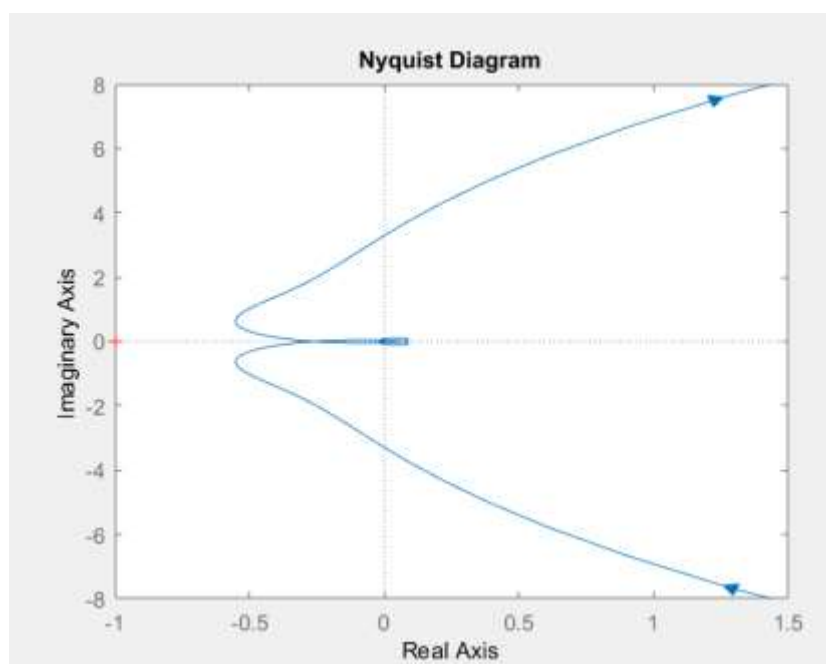


Рисунок 3.14– Збільшення в точці(-1;0)

Згідно критерія Найквіста, замкнута система є стійкою, оскільки амплітудно-фазова характеристика розімкнутого контура не проходить через точку з координатами $(-1; j0)$. Цей критерій використовується для оцінки стійкості системи за допомогою аналізу амплітуд і фазових зсувів сигналу при зміні частоти. У даному випадку, відсутність проходження амплітудно-фазової характеристики через точку $(-1; j0)$ свідчить про стійкість системи.

Висновки до розділу

У цьому розділі бакалаврської роботи розглянуто дослідження одноконтурної та каскадної автоматичної системи керування. Особливу увагу приділено обґрунтуванню вибору регулятора для одноконтурної системи. На основі аналізу якісних характеристик перехідних процесів було визначено, що найбільш доцільним є застосування ПІ-регулятора.

Для подальшого аналізу системи визначено її еквівалентну передавальну функцію, після чого проведено дослідження стійкості за критерієм Михайлова з використанням програмного середовища MathCad.

У межах дослідження також змодельовано каскадну систему керування, де в якості основного регулятора застосовано ПІ-регулятор, а як допоміжний — ПД-регулятор. З урахуванням отриманих передавальних функцій регуляторів сформовано еквівалентну передавальну функцію всієї каскадної системи. Подальший аналіз за критерієм Найквіста підтвердив, що система є стійкою.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

4 ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ПІДБІР ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АТОМАТИЗАЦІЇ

4.1 Проектування функціональної схеми автоматизації

Функціональні схеми відіграють ключову роль у створенні систем автоматичного керування, контролю та регулювання технологічних процесів. Вони є базовим технічним документом, який відображає функціонально-блочну побудову систем автоматизації, включаючи засоби контролю, обладнання та взаємозв'язки між ними.

Ці схеми оформлюються у вигляді креслень, де за допомогою стандартизованих умовних позначень зображаються основні компоненти: технологічне обладнання, комунікації, засоби автоматизації та взаємозв'язки між ними. Засоби керування й контролю можуть розташовуватись як безпосередньо на обладнанні або трубопроводах, так і в спеціальних приміщеннях, наприклад, в операторських чи диспетчерських пунктах.

Під час розробки схем технологічні елементи відображаються у спрощеному вигляді — без деталізації другорядного обладнання або допоміжних трубопроводів. На самих трубопроводах позначають лише ті запірні пристрої (клапани, заслінки, засуви тощо), які впливають на керування процесом або потрібні для розміщення контрольно-вимірювальної апаратури.

Всі прилади та засоби автоматизації, включно з електричними пристроями, датчиками, перетворювачами й елементами обчислювальної техніки, на схемі зображаються у вигляді кола діаметром 10 мм. У верхній частині кола зазначаються буквені позначення, що вказують на функціональне призначення приладу, а в нижній — позиційні позначення, які визначають номер і місце приладу в системі.

Потоки в трубопроводах відображаються стрілками, які вказують напрям руху середовища. Поруч із символами технологічного обладнання обов'язково вказуються пояснення — назва, маркування або позиційне позначення. Бажано розміщувати ці позначення всередині або поряд із графічним зображенням, переважно зверху або праворуч.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Для забезпечення чіткості та зручності читання креслення, всі умовні графічні позначення повинні виконуватись лініями товщиною 0,5–0,6 мм.

Головною метою автоматизації процесу сповільненого коксування є забезпечення контролю та стабільного керування ключовими технологічними параметрами. Це дозволяє знизити ризики порушення режиму, підвищити ефективність процесу й уникнути можливих аварійних ситуацій. Система сигналізації має враховувати всі критично важливі параметри, зміна яких може становити загрозу для виробництва або безпеки персоналу.

4.2. Вибір технічних засобів автоматизації

У бакалаврській роботі обрано наступні технічні засоби автоматизації.

Термоперетворювач Siemens SITRANS TS500 є високоточним і гнучким пристроєм, призначеним для вимірювання температури в різних галузях промисловості. Він належить до модульної серії датчиків температури виробництва компанії Siemens, що є визнаним світовим лідером у сфері автоматизації та вимірювальної техніки. Пристрій створено з урахуванням експлуатації в умовах підвищеного механічного, термічного та хімічного навантаження. Завдяки високій точності, надійності та відповідності сучасним стандартам безпеки, він оптимально підходить для застосування в автоматизованих системах керування технологічними процесами.

TS500 може комплектуватися як термоперетворювачами опору, так і термопарами різних типів, таких як K, J, N, S та інших. Це забезпечує широку гнучкість у конфігурації пристрою, що дозволяє адаптувати його до різних умов виробництва. Датчик знаходить своє застосування в хімічній і нафтохімічній промисловості, енергетиці, металургії, харчовій і фармацевтичній галузях, де точність і надійність температурного контролю мають критичне значення.

Завдяки модульній конструкції термоперетворювача, можливе швидке обслуговування та заміна окремих компонентів без повного демонтажу системи. Користувач може легко замінити вимірювальний зонд, термозахисну гільзу або електронний блок. Пристрій також підтримує різні типи термогільз, включаючи моделі для експлуатації у вибухонебезпечних середовищах з відповідною

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

сертифікацією, такою як АТЕХ, ІЕСЕх, FM та CSA. Це дає змогу використовувати TS500 у зонах класу Ex d (вибухозахищене виконання) або Ex i (іскробезпечне виконання).

Інтеграція приладу в системи керування здійснюється через аналоговий сигнал 4–20 мА або цифровий інтерфейс HART, що дозволяє проводити дистанційне налаштування, калібрування та діагностику. Це спрощує введення пристрою в експлуатацію та його технічне обслуговування.

SITRANS TS500 підтримує використання термопар (типи К, J, N, S) і термоперетворювачів опору (Pt100, Pt1000) з діапазоном температур до +1600 °С. Клас точності відповідає міжнародним стандартам ІЕС, а конструкція датчика дозволяє виконання у різних варіантах монтажу — з різьбовим або фланцевим приєднанням, з гільзою або без неї. Матеріал гільзи може бути виконаний із нержавіючої сталі, Inconel або Hastelloy, що забезпечує високу стійкість до агресивних середовищ. Ступінь захисту корпусу може сягати IP68, залежно від конкретного виконання пристрою. Крім того, датчик повністю сумісний із системами автоматизації Siemens (наприклад, SIMATIC PCS 7), а також іншими DCS і SCADA-платформами.

Siemens SITRANS TS500 є прикладом сучасного інженерного рішення, що поєднує у собі точність, гнучкість і довговічність. Його конструктивні та функціональні можливості дозволяють використовувати його у найскладніших умовах, де необхідна максимальна ефективність та надійність вимірювань.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49



Рисунок 4.1 – Давач температури Siemens SITRANS TS500

Rosemount 3051 — це універсальний диференціальний та абсолютний передавач тиску, призначений для високоточного вимірювання в складних промислових умовах. Його технічні характеристики відображають поєднання точності, надійності та функціональної гнучкості, що робить цей прилад одним із провідних у своєму класі.

Діапазон вимірювання залежить від модифікації, але загалом охоплює від кількох мілібар до понад 200 бар, із можливістю перевантаження до 2-4-кратного робочого тиску залежно від моделі. Прилад забезпечує базову точність до $\pm 0,04\%$ від верхньої межі діапазону (URL), з можливістю розширеного калібрування для досягнення точності до $\pm 0,025\%$. Довготривала стабільність вимірювання зберігається в межах $\pm 0,125\%$ протягом 10 років експлуатації, що є критичним фактором у безперервних процесах.

Передавач має цифрову компенсацію температури, яка забезпечує стабільну роботу в діапазоні температур від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температурна похибка не перевищує $\pm 0,1\%$ URL. Діапазон робочих температур середовища може змінюватися залежно від виконання корпусу та матеріалу ізоляції.

Вихідний сигнал реалізовано у вигляді стандартного 4–20 мА з цифровим протоколом HART, а також доступні версії з підтримкою Foundation Fieldbus і

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Profibus PA. Напруга живлення становить 10,5–42,4 В постійного струму, залежно від типу протоколу.

Конструкція корпусу виконана з нержавіючої сталі, алюмінію або спеціальних сплавів (наприклад, Hastelloy або танталу для агресивного середовища), що забезпечує високий рівень хімічної стійкості. Ступінь захисту корпусу відповідає стандартам IP66/67 і NEMA 4X, що дозволяє застосовувати пристрій у вибухонебезпечних або запилених зонах.

Rosemount 3051 має вбудовані діагностичні функції та можливість самокалібрування, що знижує потребу в технічному обслуговуванні. Завдяки розширеним функціям обробки сигналу, прилад може бути використаний також як витратомір (у складі комплектів з Вентурі, діафрагмами або соплами).

Ці характеристики роблять Rosemount 3051 ключовим елементом у контексті точного керування процесами в енергетиці, хімічній, нафтохімічній, харчовій та фармацевтичній промисловості.



Рисунок 4.2 – Давач температури Rosemount 3051

Бар'єр іскрозахисту БІЗ-21, розроблений компанією «Мікрол», призначений для забезпечення іскробезпеки електричних кіл технічних засобів автоматизації, що встановлюються у вибухонебезпечних зонах приміщень і зовнішніх установок. Він встановлюється поза вибухонебезпечною зоною і забезпечує захист іскробезпечних ліній від впливу напруги до 250 В, обмежуючи значення струму і напруги до іскробезпечних.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

БІЗ-21 дозволяє підключення іскробезпечного обладнання з різними типами сигналів, включаючи:

– сигнали для керування аналоговим клапаном 0–20 мА, 4–20 мА (модель БІЗ-21-Т03);

– аналогові вхідні і вихідні сигнали постійного струму з діапазоном 0–5 мА та постійної напруги з діапазоном 0–10 В (БІЗ-21-А01);

– електричні кола напруги живлення постійного струму з номінальним значенням до 24 В (БІЗ-21-А01);

– сигнали інтерфейсу RS-485 (БІЗ-21-А01);

– дискретні вхідні і вихідні сигнали з рівнем напруги до 24 В і струмом до 20 мА (БІЗ-21-А01);

– аналогові вхідні і вихідні сигнали постійного струму з діапазоном 0–20 мА та 4–20 мА (БІЗ-21-А02);

– сигнали від термоперетворювачів опору, підключені по трьохпровідній схемі (БІЗ-21-Т01);

– сигнали від термоперетворювачів опору, підключені по чотирьохпровідній схемі (використовуються два бар'єри БІЗ-21-Т02);

– сигнали від термоелектричних перетворювачів – термопар (БІЗ-21-Т03).

Технічні характеристики бар'єру включають:

– максимально допустиме значення напруги (U_m), при якому забезпечується іскробезпека кола, становить 250 В;

– максимальна вихідна напруга бар'єру (U_0) – 31.4 В для моделей БІЗ-21-А01 та БІЗ-21-Т01, і 13.8 В для БІЗ-21-А02;

– максимальний вихідний струм бар'єру (I_0) – 50 мА для БІЗ-21-А01, 90 мА для БІЗ-21-А02, та 116 мА для БІЗ-21-Т01;

– прохідний опір бар'єру варіюється від 660 до 700 Ом для БІЗ-21-А01, від 450 до 550 Ом для БІЗ-21-А02, та від 140 до 162 Ом для БІЗ-21-Т01;

– максимально допустима ємність кола, що захищається (C_0), становить 0.055 мкФ для БІЗ-21-А01 та БІЗ-21-Т01, і 0.68 мкФ для БІЗ-21-А02;

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

– максимально допустима індуктивність кола, що захищається (L0), становить 1.5 мГн для БІЗ-21-А01, 0.7 мГн для БІЗ-21-А02, та 1 мГн для БІЗ-21-Т01;

– габаритні розміри бар'єру – 81.8 мм х 22.5 мм х 99 мм;

– маса – не більше 0.2 кг.

Бар'єр іскрозахисту БІЗ-21 відповідає рівню іскробезпеки електричного кола, що дозволяє його використання у вибухонебезпечних зонах різних промислових об'єктів.



Рисунок 4.3 – Бар'єр іскрозахисту БІЗ-21

Універсальний безпаперовий реєстратор R7100 — це сучасний інструмент для промислового вимірювання, який забезпечує ефективний збір, візуалізацію та збереження технологічних даних. Його головна перевага полягає в поєднанні функціональності класичних самописців із можливостями цифрових технологій, що дозволяє досягати високої точності та стабільності в роботі навіть у складних виробничих умовах.

Цей пристрій підтримує до 16 аналогових універсальних входів, завдяки чому може взаємодіяти з різноманітними типами сигналів. Серед них — напругові (0–5 В, 1–5 В, 0–20 мВ, 0–100 мВ), струмові (0–10 мА, 0–20 мА, 4–20 мА), сигнали

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

опору (до 400 Ом), а також сигнали з термопар і термометрів опору, включно з такими типами як S, B, K, T, R, E, N, J, Pt100, Cu50, Cu100, BA1 і BA2. Завдяки цьому R7100 є справді універсальним рішенням, що охоплює більшість потреб вимірювальних систем.

Для наочного моніторингу прилад оснащено 7-дюймовим кольоровим TFT-дисплеєм, який дозволяє зручно переглядати криві, гістограми, списки тривог та інші важливі параметри процесу в реальному часі. Внутрішня пам'ять обсягом 256 МБ дає змогу зберігати великі обсяги історичних даних, що важливо для аналізу динаміки процесів та аудиту.

Пристрій підтримує комунікаційні інтерфейси RS232C та RS485 з використанням протоколу Modbus RTU, що робить його сумісним із більшістю сучасних систем автоматизації. Крім того, він має виходи для живлення датчиків (+24 В постійного струму), аналогові виходи 4–20 мА (до двох каналів) для передачі даних на інші пристрої, а також до чотирьох релейних виходів для реалізації сигналізації.

R7100 живиться як від мережі змінного струму 220 В, так і від постійного джерела 24 В, що забезпечує зручність при встановленні в різних середовищах. Його експлуатаційний діапазон температур становить від 0 до 50°C, а допустима вологість — до 85% без конденсації, що гарантує стабільну роботу навіть у складних умовах.

Завдяки своїй гнучкості, точності та зручності, реєстратор R7100 широко застосовується в металургії, нафтохімічній промисловості, хімічному виробництві, у сфері будівельних матеріалів, харчовій промисловості, фармацевтиці, наукових дослідженнях і теплоенергетиці. Його універсальність робить його незамінним інструментом для систем моніторингу та контролю, де важлива точність, збереження даних та інтеграція у сучасні автоматизовані комплекси.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54



Рисунок 4.4 – Універсальний безпаперовий реєстратор R7100

Індикатор технологічний мікропроцесорний ІТМ-11, ІТМ-11В

- Універсальні багатофункціональні одноканальні індикатори
- Модифікації індикаторів ІТМ-11 - горизонтальне виконання, шкальний індикатор з 31 сегментом, ІТМ-11В - вертикальне виконання, шкальний індикатор з 21 сегментом

Сфера застосування:

- Системи цифрового та лінійного відображення технологічних параметрів
- Двопозиційне, трьохпозиційне та багатопозиційне регулювання температури, тиску, витрати, рівня та інших фізичних величин
- Віддалені засоби зв'язку з об'єктом з індикацією
- Територіально розподілені та місцеві системи управління
- Місцеві щити та пульт управління, мнемощити, мнемосхеми тощо.

Функціональні можливості

- Робота з уніфікованими сигналами, термоперетворювачами опору, термопарами
- Кожен аналоговий вхід може бути налаштований для підключення будь-якого типу датчика

- Відображення параметрів в технологічних одиницях на цифрових та лінійних (0-100%) індикаторах
- Цифрова калібрування (автоматична і ручна) початку шкали та діапазону вимірювання
- Вибір методу лінійного відображення (сегмент, гістограма)
- Встановлення та сигналізація відхилення від уставок мінімуму та максимуму на передній панелі
- Тип технологічної сигналізації: без запам'ятовування спрацювання, з запам'ятовуванням спрацювання та підтвердженням
- Вхідний цифровий фільтр аналогових входів
- Видобування квадратного кореня (вимірювання витрати за перепадом тиску)
- Функція вимірювання інтегральної витрати
- Лінійаризація вхідного сигналу (за 16 точками)
- 2 налаштовувані дискретні виходи - транзистор ОК, реле, оптосимістор, твердотільне реле
- Програмована логіка роботи вихідних пристроїв: більше MAX, менше MIN, у зоні MIN-MAX, поза зоною MIN-MAX
- Аналоговий вихід для ретрансляції вхідних аналогових сигналів



Рисунок 4.5 – ITM-11 – цифровий індикатор

- Архівування даних в енергонезалежну пам'ять (планується модернізація)
- Збереження параметрів при відключенні живлення

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

- Захист від несанкціонованої зміни параметрів
- Гальванічно розділений інтерфейс RS-485, протокол ModBus RTU (збір інформації, конфігурація)

МІК-51 - це регулятор, який використовується для керування процесом. Він призначений для прийому сигналу, який надходить від датчиків або інших вхідних пристроїв, та виконання відповідних дій для забезпечення необхідного рівня регульованої величини. Регулятор МІК-51 може бути використаний для регулювання тиску, температури, рівня речовини або інших параметрів у системі. Він має можливість приймати сигнали від датчиків, обробляти їх та відправляти відповідний сигнал на виконавчий механізм для зміни регульованої величини. МІК-51 зазвичай використовується в промислових системах, де потрібно точне та стабільне керування процесами.



Рисунок 4.5 – Регулятори електричні МІК-51

Регулювальний клапан Fisher ЕН є високонадійним елементом систем автоматизованого керування технологічними процесами, розробленим для роботи в умовах підвищеного тиску, високих температур та агресивного середовища. Він належить до класу односідельних лінійних клапанів із прямим напрямом потоку та збалансованим штоком, що забезпечує високу точність регулювання та механічну стабільність за значного перепаду тиску.

Конструкція корпусу передбачає виготовлення з жаростійких і корозійностійких матеріалів, таких як сталь ASTM A217 (WC6, WC9, C12A), що

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

дозволяє використовувати клапан у середовищах із температурою до +566 °С та тиском до 420 бар. Внутрішні елементи можуть бути виконані з хромованої сталі або твёрдосплавних матеріалів, зокрема Stellite, що істотно підвищує зносостійкість та опір кавітації.

Сідельна частина клапана обладнана спеціалізованими поточерегулюючими системами, такими як Cavitrol™ III або Whisper Trim™ III, що забезпечують зниження рівня гідродинамічного шуму, локалізацію кавітації та зменшення вібрацій. Завдяки цьому досягається стабільна робота навіть в умовах значного дроселювання.

Регульовальна характеристика може бути як рівновідсотковою, так і лінійною, що дозволяє адаптувати клапан до особливостей процесу. Діапазон пропускної здатності (Cv) визначається індивідуально на основі гідравлічного розрахунку та конфігурації внутрішніх компонентів.

Клапан сумісний із пневматичними або електропневматичними приводами мембранного або поршневого типу. У більшості конфігурацій він обладнується інтелектуальними позиціонерами серії Fisher FIELDVUE (наприклад, DVC6200), які забезпечують точне позиціонування, зворотний зв'язок та розширену діагностику у цифрових протоколах HART, FOUNDATION Fieldbus або Profibus PA.

Fisher EN рекомендований для застосування в критичних вузлах регулювання витрати перегрітої пари, живильної води, технологічних газів і рідин, зокрема в енергетичній, хімічній, нафтопереробній та целюлозно-паперовій промисловості. Його експлуатаційна надійність, конструктивна гнучкість та стійкість до екстремальних умов роблять його одним із найбільш ефективних рішень для точного та стабільного керування технологічними параметрами.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58



Рисунок 4.6 – Клапан Fisher EH

Висновки до розділу

У цьому розділі бакалаврської роботи розглянуто розробку функціональної схеми автоматизації технологічного процесу. Основну увагу зосереджено на побудові контурів регулювання, а також на підборі відповідного обладнання, яке забезпечує реалізацію функцій контролю та керування відповідно до заданих технічних вимог.

Особливу увагу приділено вибору технічних засобів автоматизації, що відповідають умовам експлуатації, критеріям надійності, точності та гнучкості. У результаті аналізу було обґрунтовано доцільність використання вітчизняного контролера МІК-51 як основного елемента для реалізації логіки керування.

Контролер МІК-51 є сучасним мікропроцесорним пристроєм, який поєднує високу швидкодію, надійність і широкі можливості для програмування. Його функціональні характеристики дозволяють ефективно організувати керування технологічним процесом, а також здійснювати постійний моніторинг параметрів у режимі реального часу. Завдяки своїм технічним властивостям, контролер

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

забезпечує точну та стабільну роботу системи автоматизації, що є ключовим фактором у підвищенні ефективності та безпеки виробництва.

Таким чином, впровадження контролера МІК-51 у функціональну схему автоматизації дозволяє створити надійну та адаптивну систему керування, яка відповідає сучасним вимогам до автоматизації технологічних процесів.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розглянуто технологічний процес сповільненого коксування, що використовується для перетворення коксувального вугілля у високоякісний кокс. Його суть полягає в отриманні продукту з необхідними фізико-хімічними характеристиками для використання у металургійній та хімічній промисловості.

Вивчено характеристики сировини (коксувального вугілля), реагентів та отриманої продукції (коксу). Важливими аспектами є аналіз вмісту вологи, сірки, золи та інших домішок у вугіллі, а також фізико-хімічні властивості коксу.

Проведено детальний аналіз технологічного процесу сповільненого коксування. Здійснено вибір і обґрунтування параметрів управління, що є важливим етапом в автоматизації технологічного процесу сповільненого коксування та визначає ефективність, якість та економічну доцільність виробництва.

Проведено математичний опис об'єкта керування, яким є реактор. З метою аналізу та моделювання системи, використовуючи програму MatLab, були визначені передавальні функції для основного та допоміжного каналів регулювання.

Математичний опис та визначені передавальні функції є важливою основою для подальшого розвитку та впровадження регуляторів у системі автоматизації реактора, що допомагає забезпечити стійку та ефективну роботу процесу.

Проведено дослідження одноконтурної та каскадної АСК. Описаний вибір регулятора для одноконтурної АСК. Для наступних досліджень, на основі аналізу якісних показників перехідних процесів, обрано ПІ регулятор. Обчислено еквівалентну передавальну функцію, на основі якої проведено дослідження на стійкість за критерієм Михайлова з використанням програми MathCad. Проведено моделювання каскадної АСК, для якої підібрано ПІ-регулятор в якості основного та ПД-регулятор як допоміжний. Визначено еквівалентну передавальну функцію з врахуванням отриманих передавальних функцій регуляторів. На основі критерія Найквіста визначено, що досліджувана система є стійкою.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Розроблено функціональну схеми автоматизації, описано контури регулювання. Особлива увага приділена підбору та обґрунтуванню вибору технічних засобів автоматизації, які задовольняють вимогам. Зокрема, у якості контролера обрано вітчизняний прилад МІК-51.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Дранчук, М. М., Фешанич Л. І. Проектування систем автоматизації: практикум. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. - 138 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://194.44.112.13/chytalna/5204/index.html>
2. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: Навч. посібник. - К.: Видавництво Ліра-К, 2017. - 344 с.
3. Трегуб В.Г. Основи проектування з елементами САПР. Методичні вказівки до практичних занять. - К.: НУХТ, 2007. - 67 ст.
4. Дранчук М. М. Проектування систем автоматизації технологічних процесів в нафтовій і газовій промисловості: навчальний посібник. - Івано-Франківськ: Факел, 2005. - 448 с.
5. Семенцов Г.Н. Теорія автоматичного керування. - Івано-Франківськ, 1999. - 611 с.
6. Аблесімов О. К. Теорія автоматичного керування : навчальний посібник / О. К. Аблесімов – К. : «Освіта України», 2019. – 270 с.
7. Проектування систем автоматизації. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/b973e8da-7468-42a5-8085-12b287d85407/content/>.
8. Siemens SITRANS TS500. Режим доступу: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/kontrolno-vymiryuvalni-prylady/vymiryuvannya-temperatury/sitrans-ts500.html>.
9. Rosemount 3051. Режим доступу: <https://trade-control.com.ua/ua/rosemount-3051>
10. Універсальний безпаперовий реєстратор R7100. Режим доступу: <https://www.drurylandetheatre.com/uk/universal-input-paperless-recorder-r7100/>.
11. Бар'єр іскрозахисту. Режим доступу: https://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=358&category_id=130&option=com_virtuemart&Itemid=71&lang=ua.
12. Клапан Fisher EH. Режим доступу: <https://www.emerson.com/en-ua/catalog/fisher-eh-series>.

					БР.АКП-03.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63