

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП -13.00.00.000 ПЗ

група АКП -21-1

Владислав Марущак

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

Марушак Владислав Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.5:665.7
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Автоматизація процесу виробництва водню методом парової каталітичної
(назва роботи)

конверсії легких вуглеводнів

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

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

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

Нормоконтроль

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

Рецензент

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

Здобувач освітнього ступеня

АКП-21-1 В. Р. Марушак
(шифр групи) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент Л. І. Фешанич
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Допущено до захисту Завідуючий кафедри

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

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ

А.І. Лагойда.

«___» _____ 20__ року

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

Марущаку Владиславу Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизація процесу виробництва водню методом парової каталітичної конверсії легких вуглеводнів

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) 1. Аналіз технологічного процесу виробництва водню методом парової каталітичної конверсії легких вуглеводнів. 2. Математичний опис об'єкта керування; 3. Аналіз та синтез автоматичних систем керування;

4. Розробка технічної документації на систему автоматичного керування. Вибір та опис технічних засобів автоматизації.

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

Лист 1 - Технологічна схема автоматизації - БР.АКП-15.00.00.001

Лист 2 - Функціональна схема автоматизації - БР.АКП-13.00.00.002

Лист 3 - Результати апроксимації - БР.АКП-13.00.00.003

Лист 4 - Результати синтезу одноконтурної АСР - БР.АКП-13.00.00.004

Лист 5 - Результати синтезу каскадної АСР - БР.АКП-13.00.00.005

Лист 6 - Дослідження стійкості АСР - БР.АКП-13.00.00.006

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота містить: 59 сторінки друкованого тексту, 36 рисунків, 6 таблиць, 10 посилань на джерела.

Тема: «Автоматизація процесу виробництва водню методом парової каталітичної конверсії легких вуглеводнів».

Об'єкт дослідження: процес виробництва водню.

Мета проекту: створення системи автоматизації процесу виробництва водню.

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

Результати бакалаврської роботи:

Описано призначення установки процесу парової каталітичної конверсії легких вуглеводнів, Проведено опис технологічного процесу, обрано параметри управління, сигналізації. Проведено математичний опис обраного об'єкта керування. В якості об'єкта керування досліджено адсорбер, що відноситься до одних з найосновніших частин установки. На основі даних експерименту було визначено передавальні функції по каналах: «температура на вході в адсорбер» (основний канал) та «тиск в адсорбері» (допоміжний канал).

Проведено аналіз та синтез одно контурної та каскадної систем керування. Досліджено та обрано оптимальні регулятори, проведено їх налагодженням. Знайдено функції передачі обраних регуляторів, що використовуються для подальшого дослідження стійкості систем керування.. Дослідження систем керування на стійкість здійснено за допомогою критеріїв Гурвіца та Михайлова, які показали, що досліджувані системи є стійкими.

Розроблено функціональну схему автоматизації процесу парової каталітичної конверсії легких вуглеводнів. Підібрано сучасні технічні засоби автоматизації.

Ключові слова: автоматична система, регулювання, технічні засоби автоматизації, виробництво водню.

ABSTRACT

The Bachelor's thesis includes: 59 pages of printed text, 36 figures, 6 tables, and 10 references.

Title: "Automation of the Hydrogen Process by Steam Catalytic Conversion of Light Hydrocarbons."

Object of the research: the hydrogen production process.

Purpose of the project: to develop an automation system for the hydrogen production process.

Research methods: The thesis employs methods of systems analysis, mathematical modeling, and automatic control theory. The stability of automatic control systems was studied using the Mikhailov and Hurwitz criteria.

Results of the Bachelor's thesis: The purpose of the steam catalytic conversion unit for light hydrocarbons is described. The technological process is explained, and control and alarm parameters are selected. A mathematical description of the selected control object is provided. An adsorber, being one of the key components of the unit, was studied as the control object. Based on experimental data, transfer functions were determined for the following channels: "inlet temperature to the adsorber" (main channel) and "pressure in the adsorber" (auxiliary channel).

The analysis and synthesis of single-loop and cascade control systems were carried out. Optimal controllers were studied and selected, and their tuning was performed. The transfer functions of the selected controllers were derived for further stability analysis of the control systems. The stability analysis, conducted using the Hurwitz and Mikhailov criteria, confirmed the stability of the designed control systems.

A functional automation scheme for the steam catalytic conversion process of light hydrocarbons was developed. Modern automation hardware was selected.

Keywords: automatic system, control, automation hardware, hydrogen production.

ЗМІСТ

| | | |
|----------|---|----|
| | ВСТУП..... | 7 |
| 1 | АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВОДНЮ МЕТОДОМ ПАРОВОЇ КАТАЛІТИЧНОЇ КОНВЕРСІЇ ЛЕГКИХ ВУГЛЕВОДНІВ..... | 8 |
| | 1.1 Склад і призначення установки, суть процесу парової каталітичної конверсії легких вуглеводнів..... | 8 |
| | 1.2 Опис технологічного процесу | 9 |
| | 1.3 Вибір параметрів управління | 11 |
| | Висновки до розділу..... | 14 |
| 2 | МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ..... | 15 |
| | 2.1 Структурна схема об'єкта керування..... | 15 |
| | 2.2 Експериментальне моделювання керованого об'єкта..... | 15 |
| | Висновки до розділу..... | 21 |
| 3 | АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ АСК ОБ'ЄКТА..... | 22 |
| | 3.1 Синтез одно контурної системи керування..... | 22 |
| | 3.2 Аналіз каскадної системи керування..... | 29 |
| | Висновки до розділу..... | 42 |
| 4 | РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА АСК..... | 43 |
| | 4.1 Структурна схема ієрархічної системи керування та контролю..... | 43 |
| | 4.2 Розробка функціональної схеми автоматизації..... | 45 |
| | Висновки до розділу | 57 |
| | ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ..... | 58 |
| | ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА..... | 59 |

| | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|-------------------|------|---------|
| | | | | | БР.АКП-13.00.00.000 ПЗ | | | |
| | | | | | | | | |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | Автоматизація процесу виробництва водню методом парової каталітичної конверсії вуглеводнів | Літ. | Арк. | Акрюшів |
| | | | | | | | 6 | 59 |
| | | | | | | ІФНТУНГ, АКП-21-1 | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

ВСТУП

Водень сьогодні відіграє ключову роль у нафтопереробній промисловості, а потреба в ньому постійно зростає. Це пов'язано зі зростаючою глибиною переробки нафти, а також із посиленням вимог до якості готових палив та мастильних матеріалів. Виробництво водню стало одним із найважливіших напрямів у хімічній технології, і найбільш широке промислове застосування набула каталітична конверсія метану.

Під терміном "конверсія газів" розуміють процес перетворення складу газової суміші з метою отримання цільових продуктів, зокрема водню або його сумішей з оксидом вуглецю. Основними вихідними речовинами для цього є метан та інші вуглеводні, а також оксид вуглецю. Отримані газові суміші можуть бути використані в органічному синтезі, металургії як відновники, або піддані подальшому очищенню для добування чистого водню.

Процес конверсії передбачає взаємодію газоподібної сировини з окислювальними агентами, такими як водяна пара, кисень, вуглекислий газ або їхні комбінації. Іноді як окисники застосовуються також оксиди металів. З-поміж доступних джерел метан — зокрема у складі природного газу — є найбільш економічно вигідною сировиною для виробництва водню. Реакції конверсії відбуваються за присутності каталізаторів, що забезпечують необхідну швидкість і ефективність процесу. Особливо ефективними виявилися каталізatori на основі окислів заліза з різноманітними добавками.

Втім, у зв'язку з очікуваним виснаженням природного газу, зростанням вартості його видобутку й транспортування, знову активізується інтерес до альтернативних методів — зокрема газифікації твердого та рідкого палива. Ці процеси передбачають перетворення вугілля, мазуту та інших вуглеводневих ресурсів у газоподібні продукти, що містять водень і оксиди вуглецю, з подальшим їх використанням у промисловості.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 7 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВОДНЮ МЕТОДОМ ПАРОВОЇ КАТАЛІТИЧНОЇ КОНВЕРСІЇ ЛЕГКИХ ВУГЛЕВОДНІВ

1.1 Склад і призначення установки, суть процесу парової каталітичної конверсії легких вуглеводнів

Установка для виробництва водню відіграє ключову роль у сучасній нафтопереробній промисловості. Зростання попиту на водень обумовлено постійним ускладненням процесів переробки нафти, підвищенням вимог до якості палив і мастильних матеріалів, а також необхідністю ефективного знесірчення енергетичних палив. Найбільш поширеним методом отримання водню є парова каталітична конверсія легких вуглеводнів. Як сировину при цьому застосовують природні та заводські гази (сухі й жирні), а також прямогонний бензин.

Процес виробництва водню включає три основні стадії: підготовку сировини, саму парову конверсію та подальше видалення оксидів вуглецю з отриманого газу. Сучасна технологія встановлює жорсткі вимоги до якості сировини, зокрема за вмістом сполук сірки, які негативно впливають на каталітичну активність. У газах допустима концентрація сірковмісних сполук не повинна перевищувати 100 мг/м³, а в бензинах — 0,3 мг/кг. Це обумовлено тим, що сірка дезактивує як нікелевий каталізатор, що використовується в паровій конверсії, так і цинкмідний каталізатор у процесі низькотемпературної конверсії оксиду вуглецю. Крім того, наявність ненасичених вуглеводнів у сировині сприяє утворенню вуглецевих відкладень на каталізаторі, що знижує ефективність процесу.

Водень, отриманий таким способом, має технічну чистоту в межах 95–98% (об.). Зменшення концентрації призводить до зростання його витрат, особливо при використанні на установках гідрокрекінгу, тоді як підвищення — економічно не вигідне через значне збільшення витрат на очищення.

Парову конверсію слід проводити з урахуванням потенційної небезпеки утворення осадів вуглецю на каталізаторі, що спричинює його деградацію та

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 8 |

збільшує гідравлічний опір у реакторі. Щоб уникнути цього, важливо підтримувати необхідне співвідношення між кількістю водяної пари та вуглеводнями. Мінімально допустиме теоретичне співвідношення становить 2:1, однак на практиці зазвичай подають 4–5 м³ пари на 1 м³ метану для поліпшення теплопередачі та стабільності процесу.

У промисловості очищення сировини для водневих установок здійснюється трьома основними методами. Найпоширенішим є очищення моноетаноламіном, яке дозволяє ефективно видаляти сірководень. Іншим варіантом є одностадійне поглинання сполук сірки поглиначами на основі оксиду цинку, за умови присутності лише термічно нестійких сірковмісних речовин. При більш складному складі домішок застосовується двоступенева схема, що включає деструктивне гідрування органічних сполук сірки з подальшим поглинанням утвореного сірководню на оксиді цинку.

Сучасні установки з виробництва водню мають добову продуктивність від 300 тис. до 3 млн м³ водню. Робочий тиск на таких установках зазвичай становить 2–3 МПа. Технологічна структура установки включає кілька функціональних секцій. Секція підготовки сировини містить компресор, підігрівач, апарат для десульфуризації, паропідігрівач і змішувач. Секція парової конверсії складається з печі конверсії та парового котла-утилізатора. Далі йдуть реактори середньо- та низькотемпературної конверсії оксиду вуглецю. Секція очищення газу від діоксиду вуглецю реалізується за допомогою гарячого водного розчину карбонату калію, який потім регенерується. Завершальним етапом є секція метанування, де видаляються залишкові кількості оксиду вуглецю й водню, несумісні з деякими технологіями споживання.

Технологічна схема установки наочно зображена на рисунку 1.1, що демонструє взаємозв'язок усіх її основних вузлів.

1.2 Опис технологічного процесу

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 9 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

У процесі виробництва водню сировинний газ попередньо стискається компресором до тиску близько 2,6 МПа, після чого проходить стадію попереднього підігріву в теплообміннику, розташованому в конвекційній секції печі. Газ нагрівають до температури 300–400 °С, після чого він надходить у реактор і адсорбер для глибокого очищення від сполук сірки. Ця стадія необхідна для забезпечення стабільної роботи каталізаторів, чутливих до сірковмісних речовин.

Після очищення в змішувач вводять водяну пару, попередньо нагріту до 400–500 °С у паропідігрівачі, також розміщеному в конвекційній секції печі. Утворена парогазова суміш надходить до радіантної секції печі парової конверсії, де відбувається основна хімічна реакція. Вона протікає у вертикальних трубчастих реакторах, заповнених нікельвмісним каталізатором на основі оксиду алюмінію. Труби закріплені у печі, яка обігривається газовими пальниками, розташованими в її склепінні, що забезпечує рівномірне нагрівання з обох боків. Температура продуктів згоряння досягає 950–1100 °С, після чого вони проходять через конвекційну секцію і використовуються для підігріву повітря в теплообміннику, перш ніж видаляються димососом у димову трубу.

Конверсійний газ після проходження печі охолоджується в котлі-утилізаторі до 400–450 °С і надходить у реактор середньотемпературної конверсії оксиду вуглецю, де в присутності залізохромового каталізатора СО перетворюється на СО₂. Далі суміш охолоджується до 230–260 °С у другому котлі-утилізаторі й подається в реактор низькотемпературної конверсії з цинк-мідним каталізатором для остаточного зниження вмісту оксиду вуглецю.

Одержана суміш водню, водяної пари та діоксиду вуглецю додатково охолоджується в системі теплообмінників до 104 °С і спрямовується на абсорбційне очищення в колоні, де СО₂ вилучається гарячим водним розчином карбонату калію. Насичений діоксидом вуглецю розчин спочатку подається в турбіну, де відбувається зниження тиску, а потім у регенератор, де при нагріванні й подальшому зниженні тиску СО₂ виділяється і разом з водяною парою виводиться в атмосферу.

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | 10 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | | | | | |

Водневмісний газ, після абсорбції, підігрівається до 300 °С і надходить у реактор метанування. У цьому реакторі залишки СО і СО₂ гідруються з утворенням метану. Завершується процес охолодження суміші до 30–40 °С, після чого в сепараторі видаляється конденсована волога, а водень стискається компресором до робочого тиску, необхідного для споживача — зазвичай у межах 4–15 МПа.

Реакція парової конверсії вуглеводнів відбувається при температурах 800–900 °С та тиску 2,2–2,4 МПа. Для одержання 1 м³ технічного водню витрачається приблизно 1,03–1,05 м³ природного газу та 0,60–0,66 м³ водяної пари на 1 м³ сухого газу.

Процес має підвищені вимоги до безпеки через використання токсичних і вибухонебезпечних речовин, а також експлуатацію апаратури, що працює під високим тиском. Установки парової каталітичної конверсії часто інтегруються в більші технологічні комплекси, зокрема гідрокрекінгові. При цьому їх будівництво становить приблизно 25–30 % загальної вартості гідрокрекінгової установки.

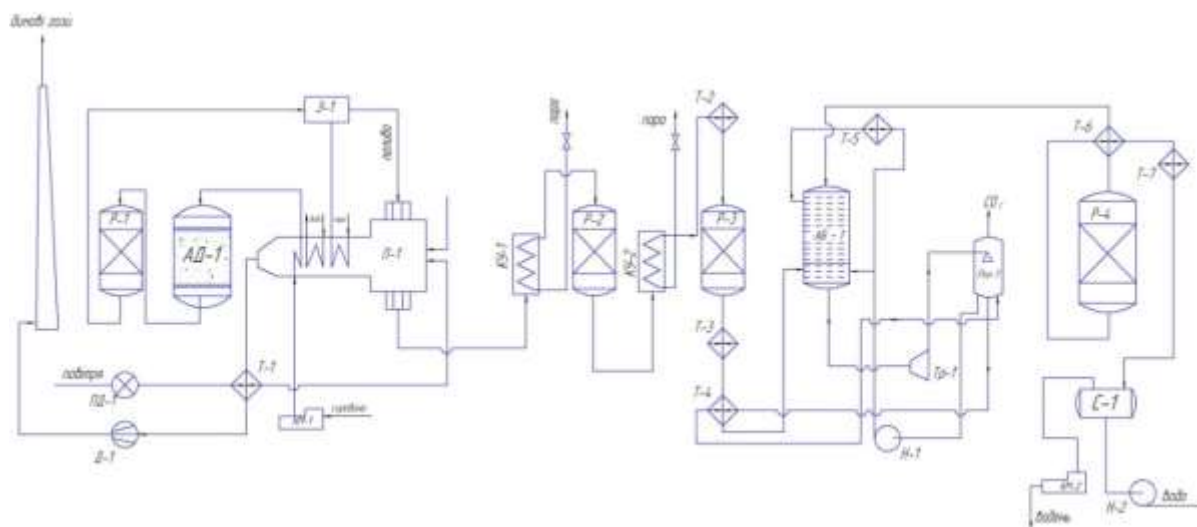


Рисунок 1.1– Технологічна схема установки для виробництва водню методом парової каталітичної конверсії легких вуглеводнів

1.3 Вибір параметрів управління

У процесі виробництва водню методом парової каталітичної конверсії легких вуглеводнів повне усунення збурень є практично неможливим. Вони неминуче

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|-------------------------|------|
| | | | | | | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | 11 |

призводять до відхилення режимних параметрів та зміни критерію управління. У зв'язку з цим виникає об'єктивна необхідність у точному та своєчасному регулюванні ключових параметрів технологічного режиму з метою підтримки стабільної роботи установки.

Параметри, за якими здійснюється оперативне керування технологічним процесом, включають режимні, вхідні та вихідні характеристики. Саме зміни вхідних або вихідних параметрів здебільшого слугують джерелами збурень, що впливають на ефективність процесу та якість кінцевого продукту.

Об'єкт автоматизації зазвичай складається з кількох взаємопов'язаних ділянок управління. Ці ділянки можуть бути представлені окремими технологічними установками, агрегатами або локальними каналами управління певними параметрами всередині тих самих установок. Така структура потребує створення багаторівневої системи керування, що охоплює низку пов'язаних між собою пунктів управління, кожен з яких виконує специфічні функції у межах загальної стратегії автоматизації.

Система управління повинна забезпечувати досягнення заданої мети з високою точністю, гарантуючи при цьому дотримання технологічних регламентів в умовах змінного виробничого навантаження. Водночас вона має забезпечувати надійність функціонування обладнання, запобігаючи аваріям, та відповідати всім вимогам вибухо- і пожежобезпечності. Важливими характеристиками системи є також її простота, зручність в експлуатації та адаптивність до змін у технологічному процесі.

Ключовим етапом при проектуванні системи автоматизації є визначення переліку технологічних параметрів, що підлягають контролю, регулюванню та аналітичному оцінюванню. Ці параметри слугують основою для виявлення передаварійного стану об'єкта керування та для реалізації заходів з його стабілізації. Правильний вибір вимірювальних і регулюючих засобів є визначальним чинником ефективного управління і надійної роботи системи в цілому.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 12 |

На даному етапі з-поміж багатьох параметрів, що характеризують технологічний процес, виокремлено ті, які доцільно регулювати та для яких впровадження регулюючих пристроїв є технічно обґрунтованим. Перелік основних технологічних параметрів установки для виробництва водню наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Параметри технологічного процесу виробництва водню

| № п/п | Параметр | Межі контролю і регулювання | Примітка |
|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------|
| 1 | Температура, °С | | |
| | Вихід продукту з АД-1 | 300 – 400 | Контроль |
| | Продукт на виході з З-1 | 400 – 500 | Контроль |
| | Лінія подачі повітря в П-1 | 300 – 400 | Регулювання |
| | Продукт на вході в Р-2 | 400 – 450 | Регулювання |
| | Продукт на виході з КУ-2 | 230 – 260 | Контроль |
| | Продукт на вході в АБ-1 | 104 | Регулювання |
| | Продукт на вході в Р-4 | 300 | Регулювання |
| | Продукт на виході з Р-4 | 30 – 40 | Контроль |
| | Продукт на вході в П-1 | 300 | Регулювання |
| | Продукт на виході з П-1 | 450 | Контроль |
| | Верх колони АБ-1 | 20-35 | Регулювання |
| | Верх колони АД-1 | 25-45 | Регулювання |
| | Колона Р-1 | 360-430 | Контроль |
| | Продукт на вході в Р-3 | 470-580 | Контроль |
| Продукт на виході з димової труби | 950-1100 | Контроль | |

| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|-------------|
| 2 | Тиск, МПа | | |
| | Лінія входу в Тр-1 | 2 | Регулювання |
| | Лінія виходу з Тр-1 | 0,2-0,4 | Регулювання |
| | Лінія виходу з КМ-2 | 4-15 | Контроль |
| | Лінія входу в КМ-2 | 2-3 | Контроль |
| | Лінія входу в АБ-1 | 2-7 | Контроль |
| | Колона АД-1 | 1,5-2 | Контроль |
| | Колона Р-1 | 2-7 | Контроль |
| | Колона Р-2 | 3-4 | Контроль |
| | Колона Р-3 | 3-4 | Контроль |
| | Колона Р-4 | 3,5-4,5 | Контроль |
| 3 | Витрата, м³/год | | |
| | Продукт на виході із З-1 | 4-5 | Регулювання |
| | Продукт на виході із П-1 | 1 | Контроль |
| | Продукт на виході із С-1 | 20 833 | Контроль |
| 4 | Рівень, м | | |
| | Сировина низу АБ-1 | 0,5-1,5 | Регулювання |
| | Сепаратор С-1 | 1,5-2 | Регулювання |

Висновки до розділу

У цьому розділі розглянуто призначення установки для здійснення процесу парової каталітичної конверсії легких вуглеводнів, основною метою якої є виробництво водню. Актуальність даного процесу зростає щороку, що зумовлено поглибленням технологій переробки нафти, підвищенням вимог до якості пального та мастильних матеріалів, а також необхідністю глибокого знесірчення енергетичних ресурсів.

Наведено детальний опис технологічної схеми процесу, включаючи основні стадії підготовки сировини, парогазової конверсії, очищення продуктового газу та виділення водню. Визначено ключові технологічні параметри, що підлягають

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | 14 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | | | | | |

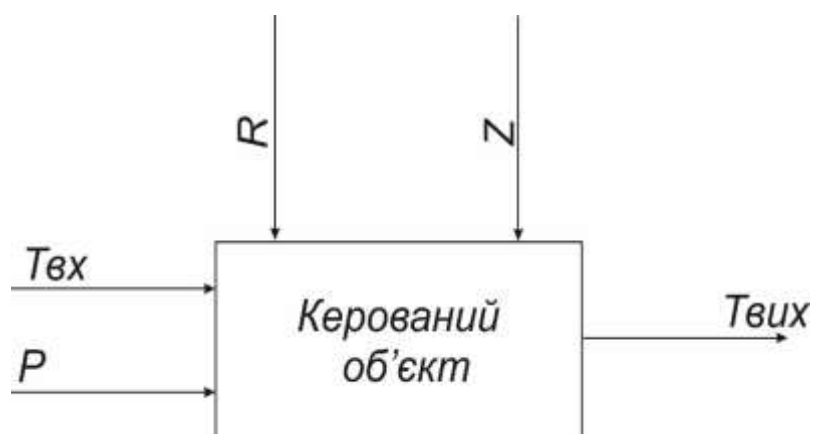
моніторингу та регулюванню, а також обґрунтовано вибір параметрів, за якими здійснюється автоматичне керування та сигналізація стану системи. Такий підхід забезпечує ефективне функціонування установки в умовах змінного навантаження і гарантує дотримання вимог технологічного регламенту, безпеки та надійності експлуатації.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 15 |

2 МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

2.1 Структурна схема об'єкта керування

Провести математичне моделювання установки процесу парової каталітичної конверсії легких вуглеводнів є доволі трудомістко та складно. Для детального аналізу та дослідження вибрано апарат - адсорбер АД-1, що має вплив на якість продукції. Побудуємо спрощену схема об'єкта керування та представимо на наступному рисунку (рис. 2.1).



$T_{вих}$ – температура на виході з адсорбера;

$T_{вх}$ – температура на вході у адсорбер; P – тиск; Z – сумарні збурення; R – регулююча дія

Рисунок 2.1 – Структурна схема об'єкта керування

2.2 Експериментальне моделювання керованого об'єкта

Динамічні властивості об'єкта регулювання розраховують за допомогою математичного моделювання технологічного процесу або ж за рахунок експериментального зняттям кривої розгону об'єкта.

Таким чином, математичний опис об'єктів керування є достатньо складною задачею або ж доступне лише з достатньо суттєвими допущеннями, тобто отриманий результат буде доволі наближеним. В таких випадках доцільним буде отримувати математичний опис елементів в вигляді отримання функції передачі на базі експериментальних даних. Часто експериментально отримують перехідну

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 16 |

характеристику об'єкта (так звану криву розгону), а далі визначають функцію передачі. Не можливо уникнути похибок при знятті експериментальної характеристики, а також при апроксимації функцією передачі. Але, вважається, що ці похибки є допустимими для подальших інженерних розрахунків [1].

В даному дипломному проєкті для знаходження динамічних властивостей об'єкта керування використано криву розгону об'єкту по основному (рисунок 2.2) та допоміжному каналах (рисунок 2.3).

Експериментальну перехідну характеристику, що одержана після проведеного експерименту для основного каналу(таблиця 3.1) та допоміжного каналу (таблиця 3.3), зобразимо у безрозмірних величинах.

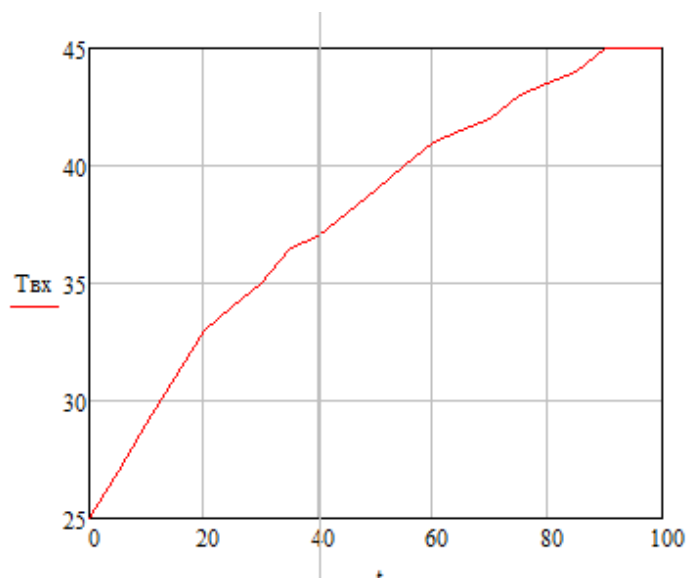


Рисунок 2.2 – Крива розгону по основному каналу

Представимо формули переходу від розмірних до безрозмірних одиниць:

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

де x – отримане поточне значення температури, °С;

x_0 - визначене початкове значення температури, °С;

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

З графіка кривої розгону визначено, що $x_{max} = 45$ °С, а початкове значення рівне $x_0 = 25$ °С .

Продовження таблиці 2.2.

| Температура, °С | Час, с | Безрозмірні одиниці, у |
|-----------------|--------|------------------------|
| 40 | 45 | 0,6500 |
| 41 | 50 | 0,7000 |
| 41,5 | 55 | 0,7500 |
| 42 | 60 | 0,8000 |
| 43 | 65 | 0,8500 |
| 43,5 | 70 | 0,8800 |
| 44 | 75 | 0,9000 |
| 45 | 80 | 0,9300 |
| 45 | 85 | 0,9500 |
| 45 | 90 | 0,9800 |
| 40 | 95 | 1,0000 |
| 41 | 100 | 0,6500 |

З використанням програмного продукту Арох (додаток А), здійснено апроксимацію отриманої перехідної характеристики, з метою отримання функції передачі об'єкта. Заповнюємо поля t – часом з відповідним кроком та $y(t)$ – безрозмірними одиницями. Далі зміною поліномів чисельника і знаменника проводимо апроксимацію з найменшою похибкою. Похибка не повинна перевищувати 2,5%.

Після використання програми Арох отримуємо наступну функцію передачі об'єкта по основному каналу:

$$W_o(p) = \frac{168,118p^2 + 9,578p + 1,000}{5833,162p^3 + 802,536p^2 + 45,028p + 1,000} \quad (2.2)$$

Також здійснено аналізування динамічної характеристики по допоміжному каналу регулювання. На рисунку 2.3 показано експериментальну перехідну характеристику цього каналу.

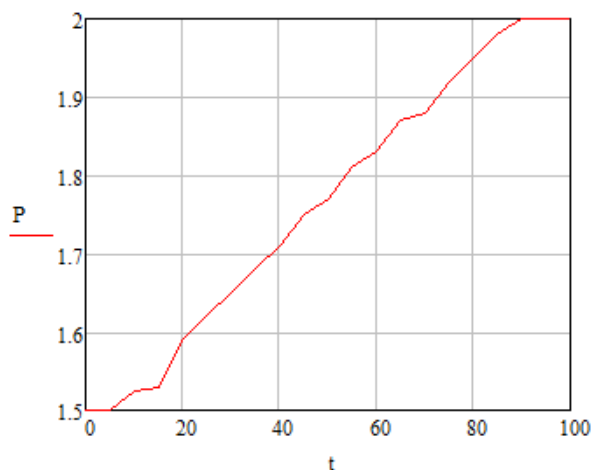


Рисунок 2.3 – Крива розгону допоміжного каналу (тиск)

Таблиця 2.3 – Результати отримані після проведення експерименту по допоміжному каналу

| Тиск, МПа | Час, с | Тиск, МПа | Час, с |
|-----------|--------|-----------|--------|
| 1,5 | 0 | 1,81 | 55 |
| 1,5 | 5 | 1,83 | 60 |
| 1,525 | 10 | 1,87 | 65 |
| 1,53 | 15 | 1,88 | 70 |
| 1,59 | 20 | 1,92 | 75 |
| 1,62 | 25 | 1,95 | 80 |
| 1,65 | 30 | 1,98 | 85 |
| 1,68 | 35 | 2 | 90 |
| 1,71 | 40 | 2 | 95 |
| 1,75 | 45 | 2 | 100 |
| 1,77 | 50 | | |

Використовуючи формулою 2.1 отримаємо дані в безрозмірних одиницях та вносимо їх в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 - Отримані результати переходу до безрозмірних одиниць по допоміжному каналу дослідження

| Тиск, МПа | Час, с | Безрозмірні одиниці, у |
|-----------|--------|------------------------|
| 1,5 | 0 | 0,0000 |
| 1,5 | 5 | 0,0200 |
| 1,525 | 10 | 0,0600 |
| 1,53 | 15 | 0,0900 |
| 1,59 | 20 | 0,1400 |
| 1,62 | 25 | 0,2000 |
| 1,65 | 30 | 0,2600 |
| 1,68 | 35 | 0,3400 |
| 1,71 | 40 | 0,4200 |
| 1,75 | 45 | 0,5000 |
| 1,77 | 50 | 0,5800 |
| 1,81 | 55 | 0,6300 |
| 1,83 | 60 | 0,7000 |
| 1,87 | 65 | 0,7600 |
| 1,88 | 70 | 0,8100 |
| 1,92 | 75 | 0,8600 |
| 1,95 | 80 | 0,8900 |
| 1,98 | 85 | 0,9300 |
| 2 | 90 | 0,9700 |
| 2 | 95 | 1,0000 |
| 2 | 100 | 0,0000 |

З використанням програмного продукту Арох (додаток А), здійснено апроксимацію отриманої перехідної характеристики, з метою отримання функції передачі об'єкта. Заповнюємо поля t – часом з відповідним кроком та $y(t)$ – безрозмірними одиницями. Далі зміною поліномів чисельника і знаменника

проводимо апроксимацію з найменшою похибкою. Похибка не повинна перевищувати 2,5%.

Після використання програми Arrox отримуємо наступну функцію передачі об'єкта по допоміжному каналу:

$$W_1(p) = \frac{57,840p^2 + -2,143p^1 + 1,000}{5416,453p^3 + 774,917p^2 + 44,682p^1 + 1,000} \quad (2.3)$$

Висновки до розділу

В даному розділі проведено математичний опис обраного об'єкта керування. В якості об'єкта керування досліджено адсорбер, що відноситься до одних з найосновніших частин установки. На основі даних експерименту було визначено передавальні функції по каналах: «температура на вході в адсорбер» (основний канал) та «тиск в адсорбері» (допоміжний канал).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 22 |

3 АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ АСК ОБ'ЄКТА

3.1 Синтез одно контурної системи керування

Моделюємо одноконтурну систему автоматичного регулювання у середовищі MatLab використовуючи Simulink:

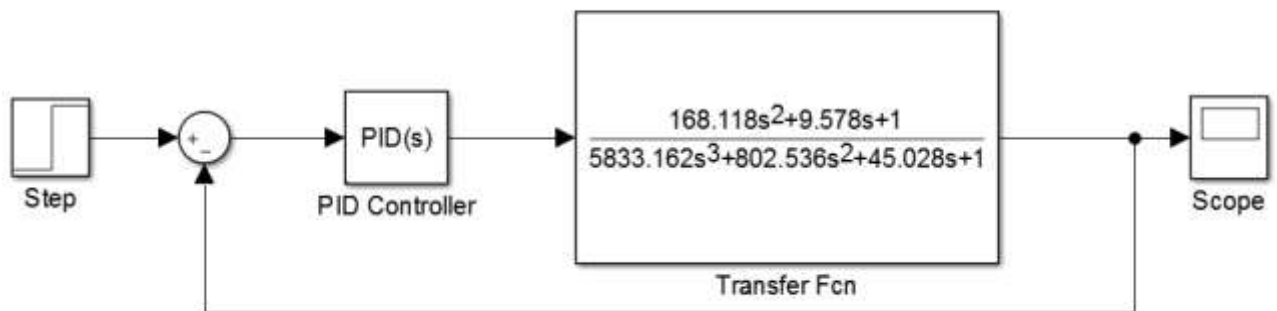


Рисунок 3.1 - Схема моделі системи в середовищі “ MatLab Simulink ”

Змінюючи типи регулятора в блоці PID Controller, знаходимо перехідні характеристики для кожного типу регулятора.

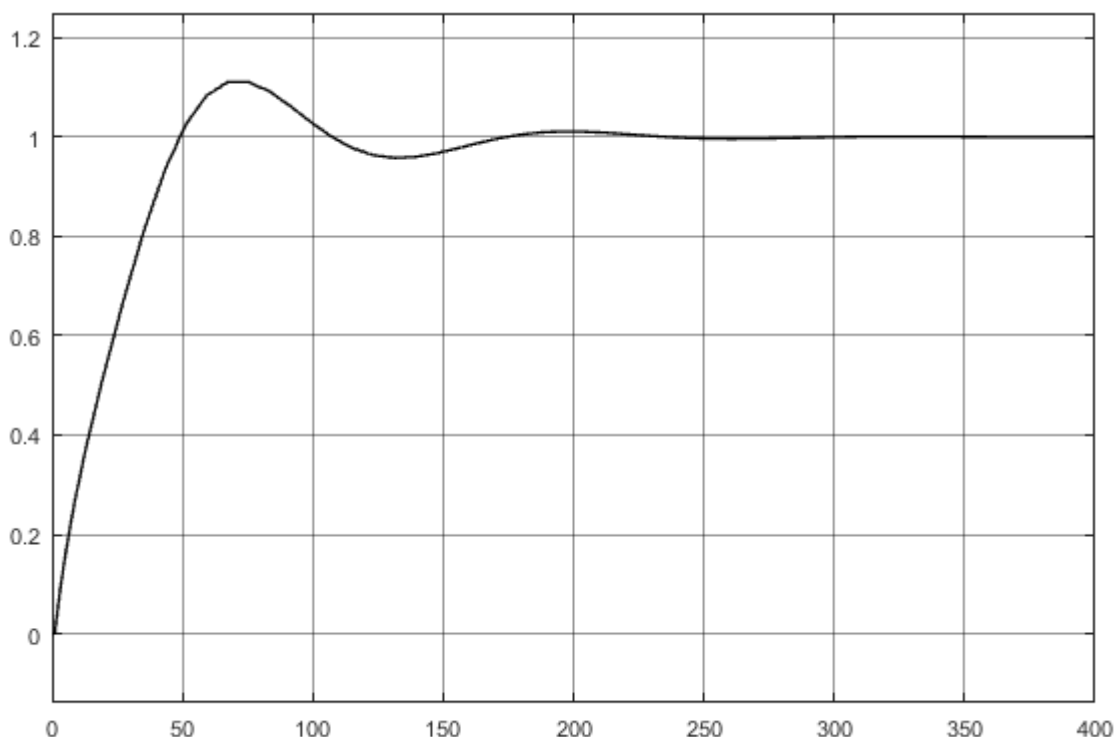


Рисунок 3.2 – Перехідна характеристика для ПД-регулятора

Показники якості перехідного процесу ПД-регулятора:

- Час перехідного процесу 270 с;
- Час досягнення першого максимуму 75 с;
- Час розгону 50 с;
- $\Delta = \frac{1,13-1}{1} * 100\% = 13\%$ - перерегулювання.

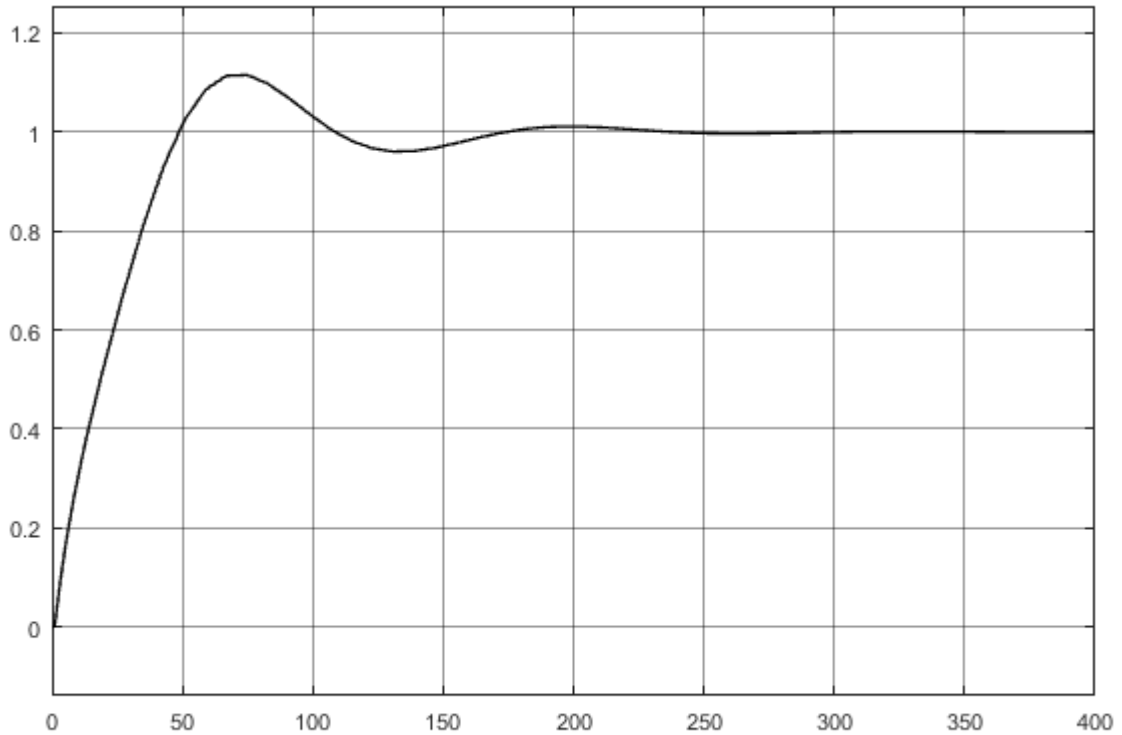


Рисунок 3.3 – Перехідна характеристика для ПІ-регулятора

Показники якості перехідного процесу ПІ-регулятора:

- Час перехідного процесу 270 с;
- Час досягнення першого максимуму 70 с;
- Час розгону 48 с;
- $\Delta = \frac{1,12-1}{1} * 100\% = 12\%$ - перерегулювання.

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

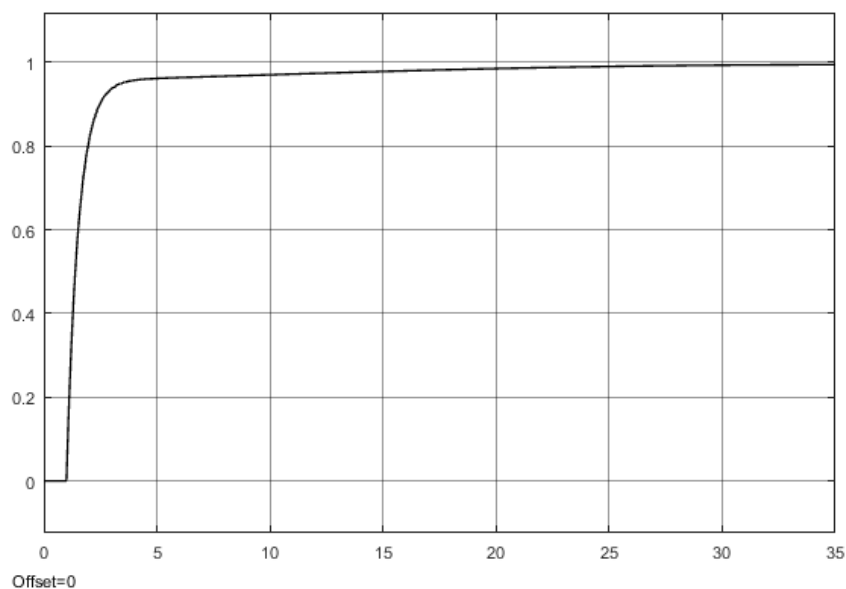


Рисунок 3.4 – Перехідна характеристика для ПД-регулятора

Показники якості перехідного процесу ПД-регулятора:

- Час перехідного процесу 35 с;
- Час досягнення першого максимуму 35 с;
- Час розгону 35 с;
- $\Delta = \frac{1-1}{1} * 100\% = 0\%$ - перерегулювання.

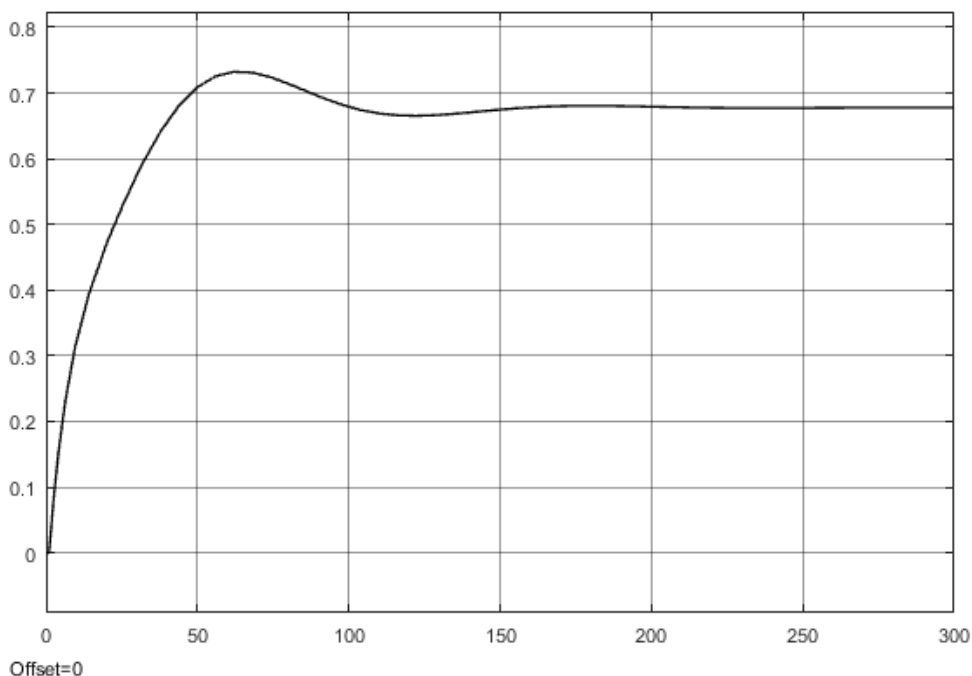


Рисунок 3.5 – Перехідна характеристика для ПІ-регулятора

Показники якості перехідного процесу ПІ-регулятора:

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

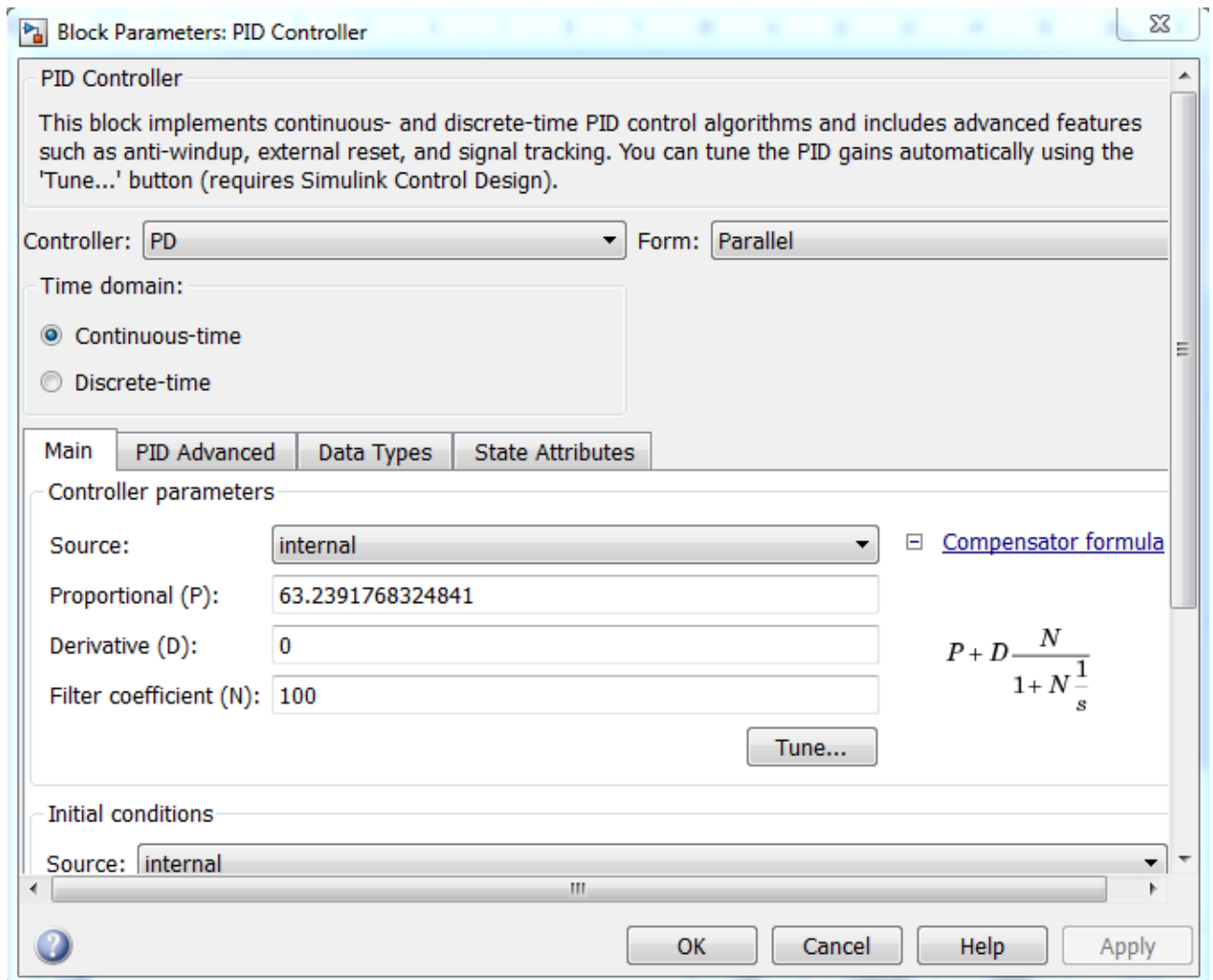


Рисунок 3.7 – Параметри регулятора

Загальний вигляд ПД-регулятора:

$$W_p(p) = P + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{p}};$$

Для нашого випадку він матиме вигляд:

$$W_p(p) = 63.24.$$

Визначимо загальну передавальну функцію системи керування. Передавальна функція має вигляд:

$$W(p) = \frac{W_p(p) * W_o(p)}{1 + W_p(p) * W_o(p)} = \frac{10505.302p^2 + 605.713p + 63.24}{5833.162p^3 + 11307.838p^2 + 650.741p + 64.24}$$

Важливою характеристикою для автоматичної системи керування є стійкість. Варто відзначити, що показники точності показують степінь ефективності та корисності системи, то від стійкості залежить саме працездатність системи.

Критерій Гурвіца

Оскільки критерій Гурвіца досліджує замкнуту систему, то для того, щоб записати характеристичне рівняння, треба прирівняти до знаменник передавальної функції розімкнутого контуру[3]. Тоді характеристичне рівняння має вигляд:

$$5833,162p^3 + 11307,838p^2 + 650,741p + 64,24 = 0.$$

Всі коефіцієнти характеристичного рівняння додатні – виконується необхідна умова стійкості:

$$a_0 = 5833,162;$$

$$a_1 = 11307,838;$$

$$a_2 = 650,741;$$

$$a_3 = 64,24.$$

Згідно критерію Вишеградського, що являється частковим випадком алгебраїчного критерію Гурвіца – система вважається стійкою, якщо $a_1 \cdot a_2 > a_0 \cdot a_4$.

$$5\,833,162 \cdot 11\,307,838 = 65\,960\,450,92 > 650,741 \cdot 64,24 = 41\,803,61$$

Покажемо головний визначник Гурвіца та всі його діагональні мінори:

$$\Delta_1 := \begin{pmatrix} 11307.838 & 64.24 & 0 \\ 5833.162 & 650.741 & 0 \\ 0 & 11307.838 & 64.24 \end{pmatrix} \quad |\Delta_1| = 4.486 \times 10^8$$

$$\Delta_2 := \begin{pmatrix} 11307.838 & 64.24 \\ 5833.162 & 650.741 \end{pmatrix} \quad |\Delta_2| = 6.984 \times 10^6$$

Як бачимо, головний визначник Гурвіца та всі його діагональні мінори додатні, отже, система стійка.

Критерій Михайлова

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$5833,162p^3 + 11307,838p^2 + 650,741p + 64,24 = 0.$$

Прирівнюємо характеристичне рівняння до якоїсь функції від p

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | 28 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$F(p) := 5833.162 \cdot p^3 + 11307 \cdot p^2 + 650.741 \cdot p + 62.24$$

Зробимо заміну замість $p \rightarrow j\omega$ і запишемо вираз для годографа Михайлова.

Розділимо на дійсну і уявну частини

$$P(\omega) := 62.24 - 11307\omega^2$$

$$Q(\omega) := 650.471\omega - 5833.162\omega^3$$

Змінюючи частоту ω від 0 до ∞ , будуємо годограф Михайлова

$$\omega := 0, 0.5.. 5$$

| w = | P(w) = | Q(w) = |
|-----|---------------------|---------------------|
| 0 | 62.24 | 0 |
| 0.5 | $-2.765 \cdot 10^3$ | -403.91 |
| 1 | $-1.124 \cdot 10^4$ | $-5.183 \cdot 10^3$ |
| 1.5 | $-2.538 \cdot 10^4$ | $-1.871 \cdot 10^4$ |
| 2 | $-4.517 \cdot 10^4$ | $-4.536 \cdot 10^4$ |
| 2.5 | $-7.061 \cdot 10^4$ | $-8.952 \cdot 10^4$ |
| 3 | $-1.017 \cdot 10^5$ | $-1.555 \cdot 10^5$ |
| 3.5 | $-1.384 \cdot 10^5$ | $-2.478 \cdot 10^5$ |
| 4 | $-1.808 \cdot 10^5$ | $-3.707 \cdot 10^5$ |
| 4.5 | $-2.289 \cdot 10^5$ | $-5.286 \cdot 10^5$ |
| 5 | $-2.826 \cdot 10^5$ | $-7.259 \cdot 10^5$ |

Рисунок 3.8 - Результати обчислень $P(\omega)$ і $Q(\omega)$

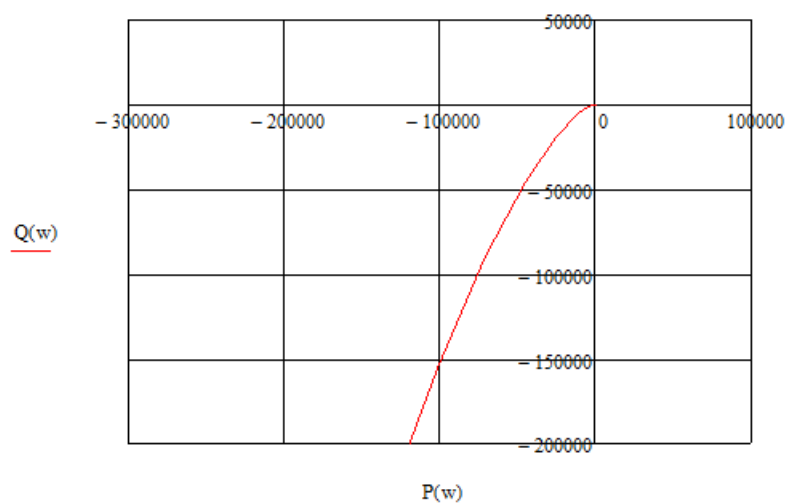


Рисунок 3.9 - Годограф Михайлова

Система стійка, бо годограф Михайлова починається на дійсній додатній осі, проти годинникової стрілки проходить два квадранти і в другому іде в нескінченність (характеристичне рівняння другого порядку).

3.2 Аналіз каскадної системи керування

Моделюємо процес у середовищі MatLab Simulink:

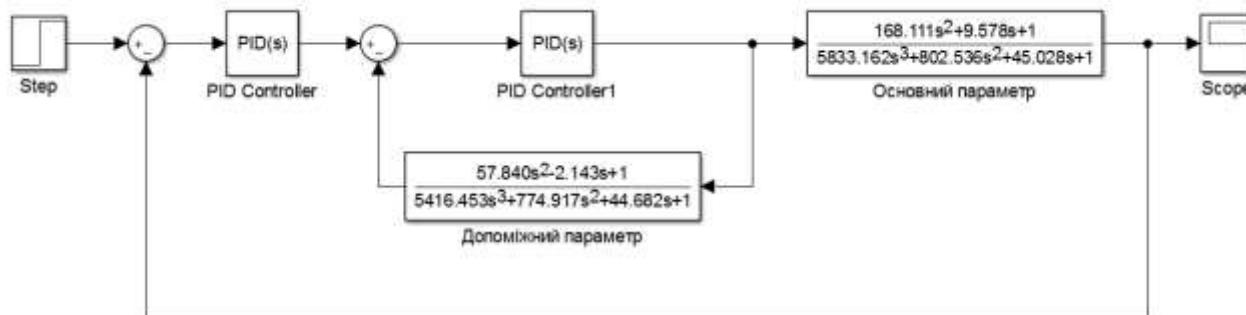


Рисунок 3.10 - Схема моделі системи в середовищі “ MatLab Simulink ”

Змінюючи типи основного регулятора в блоці PID Controller, знаходимо перехідні характеристики для кожного типу регулятора.

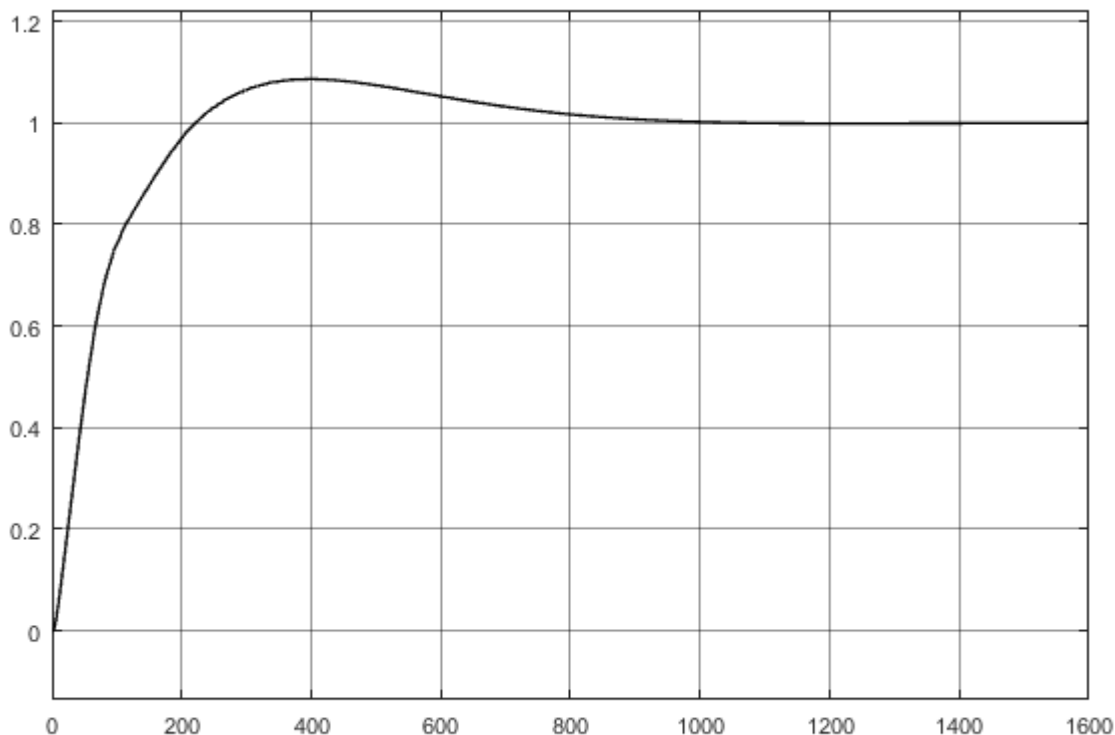


Рисунок 3.11 – Перехідна характеристика для ПІД-регулятора

Показники якості перехідного процесу ПІД-регулятора:

- Час перехідного процесу 1150 с;

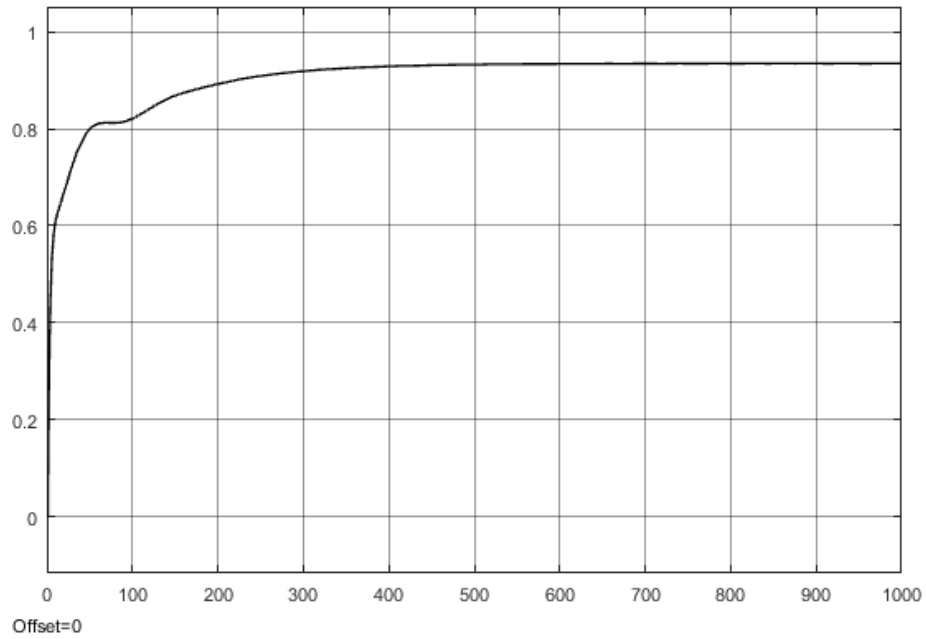


Рисунок 3.13 – Перехідна характеристика для ПД-регулятора

Показники якості перехідного процесу ПД-регулятора:

- Час перехідного процесу 550 с;
- Час досягнення першого максимуму 550 с;
- Час розгону 550 с;
- $\Delta = \frac{0,95 - 0,95}{1} * 100\% = 0\%$ - перерегулювання.

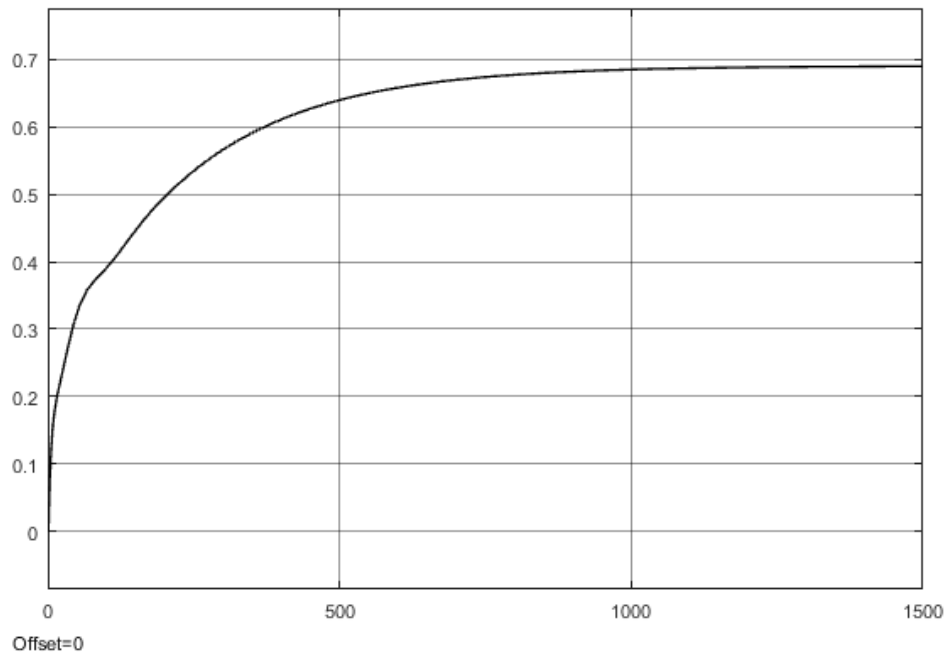


Рисунок 3.14 – Перехідна характеристика для П-регулятора

Показники якості перехідного процесу П-регулятора:

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

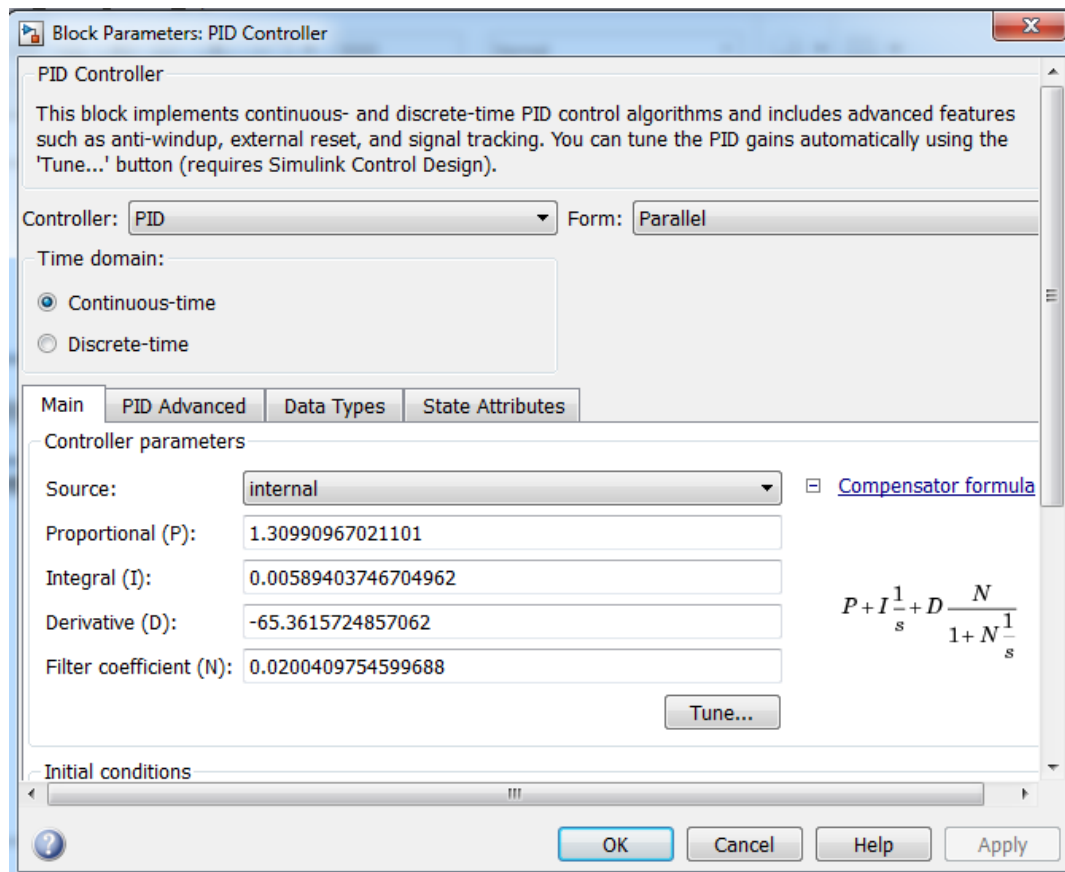


Рисунок 3.16 - Параметри регулятора

Змінюючи типи допоміжного регулятора в блоці PID Controller, знаходимо перехідні характеристики для кожного типу регулятора.

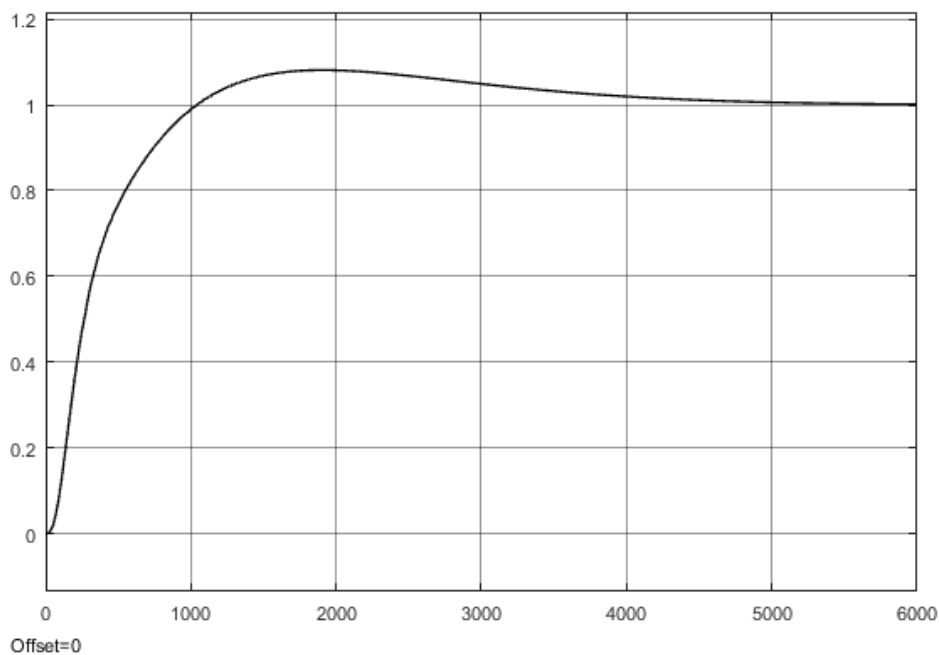


Рисунок 3.17 – Перехідна характеристика для ПІД-регулятора

Показники якості перехідного процесу ПІД-регулятора:

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

- Час перехідного процесу 6000 с;
- Час досягнення першого максимуму 1800 с;
- Час розгону 1000 с;
- $\Delta = \frac{1,09-1}{1} * 100\% = 9\%$ - перерегулювання.

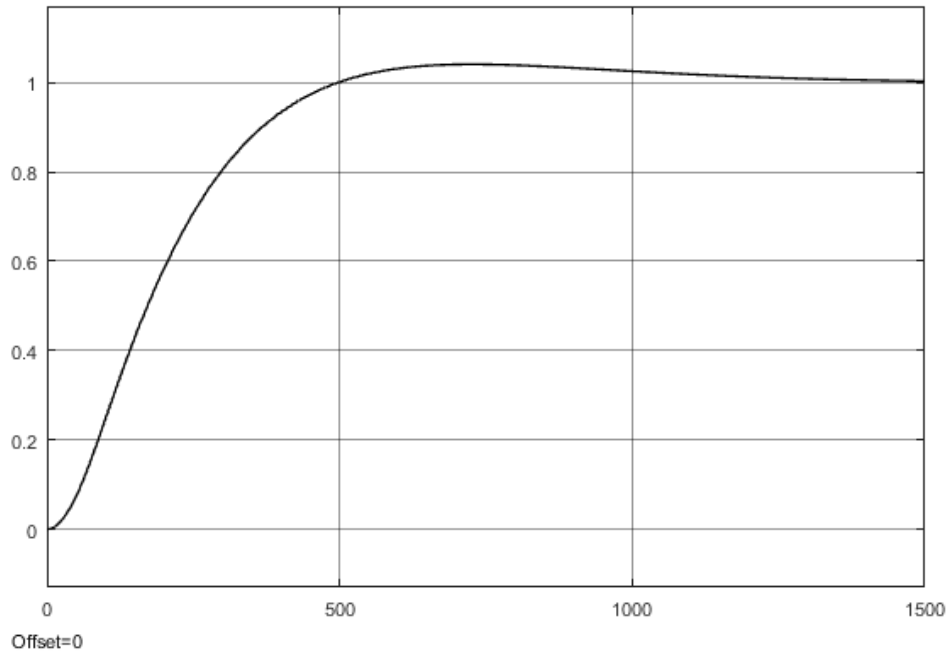


Рисунок 3.18 – Перехідна характеристика для ПІ-регулятора

Показники якості перехідного процесу ПІ-регулятора:

- Час перехідного процесу 1500 с;
- Час досягнення першого максимуму рівний 700 с;
- Час розгону складає 500 с;
- $\Delta = \frac{1,03-1}{1} * 100\% = 3\%$ - перерегулювання.

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

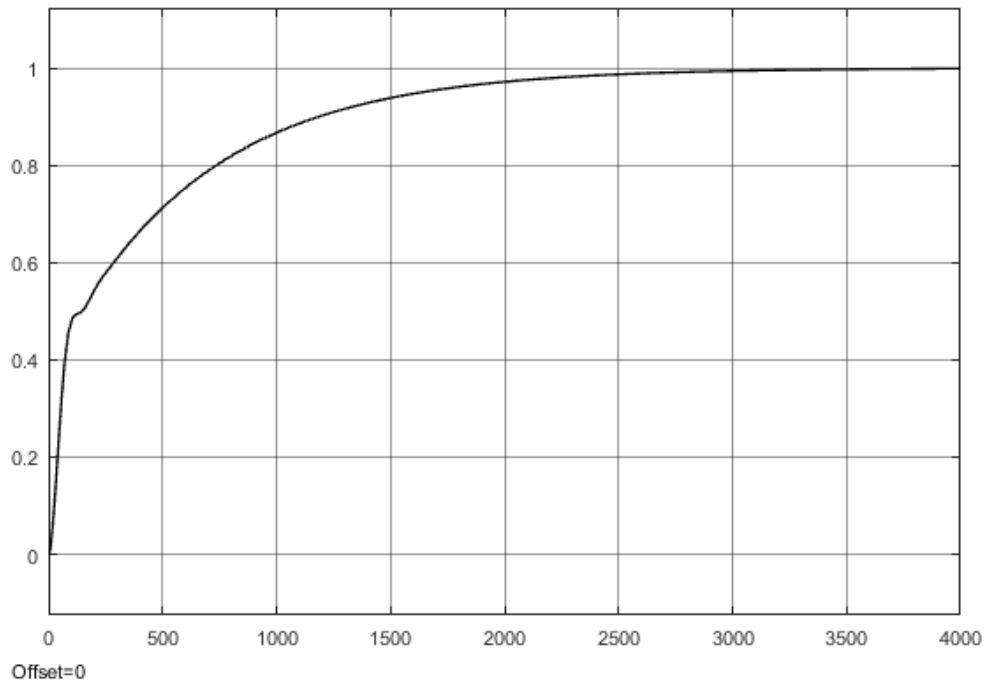


Рисунок 3.19 – Перехідна характеристика для ПД-регулятора

Показники якості перехідного процесу ПД-регулятора:

- Час перехідного процесу 3000 с;
- Час досягнення першого максимуму 3000 с;
- Час розгону 3000 с;
- $\Delta = \frac{1-1}{1} * 100\% = 0\%$ - перерегулювання.

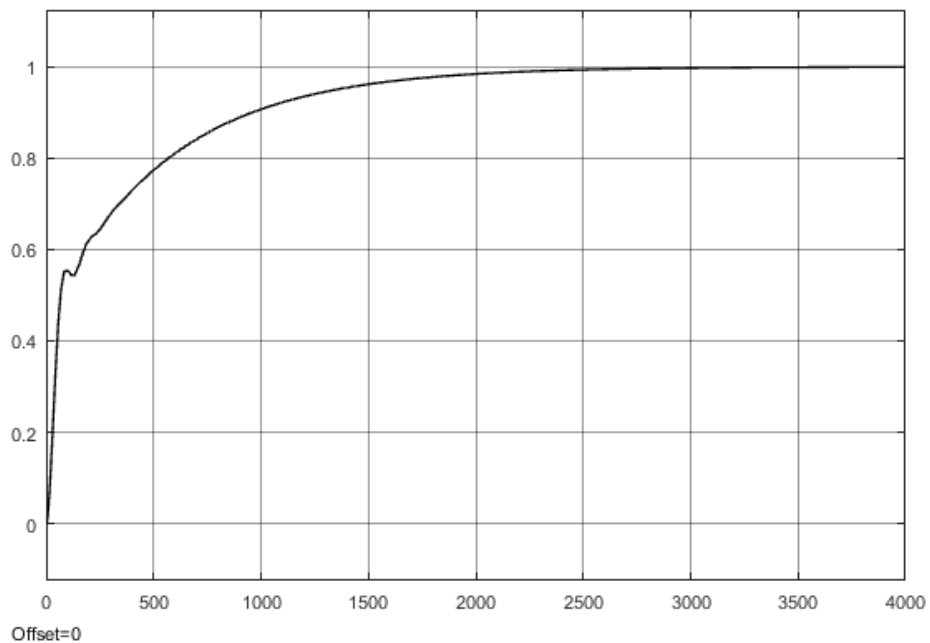


Рисунок 3.20 – Перехідна характеристика для П-регулятора

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

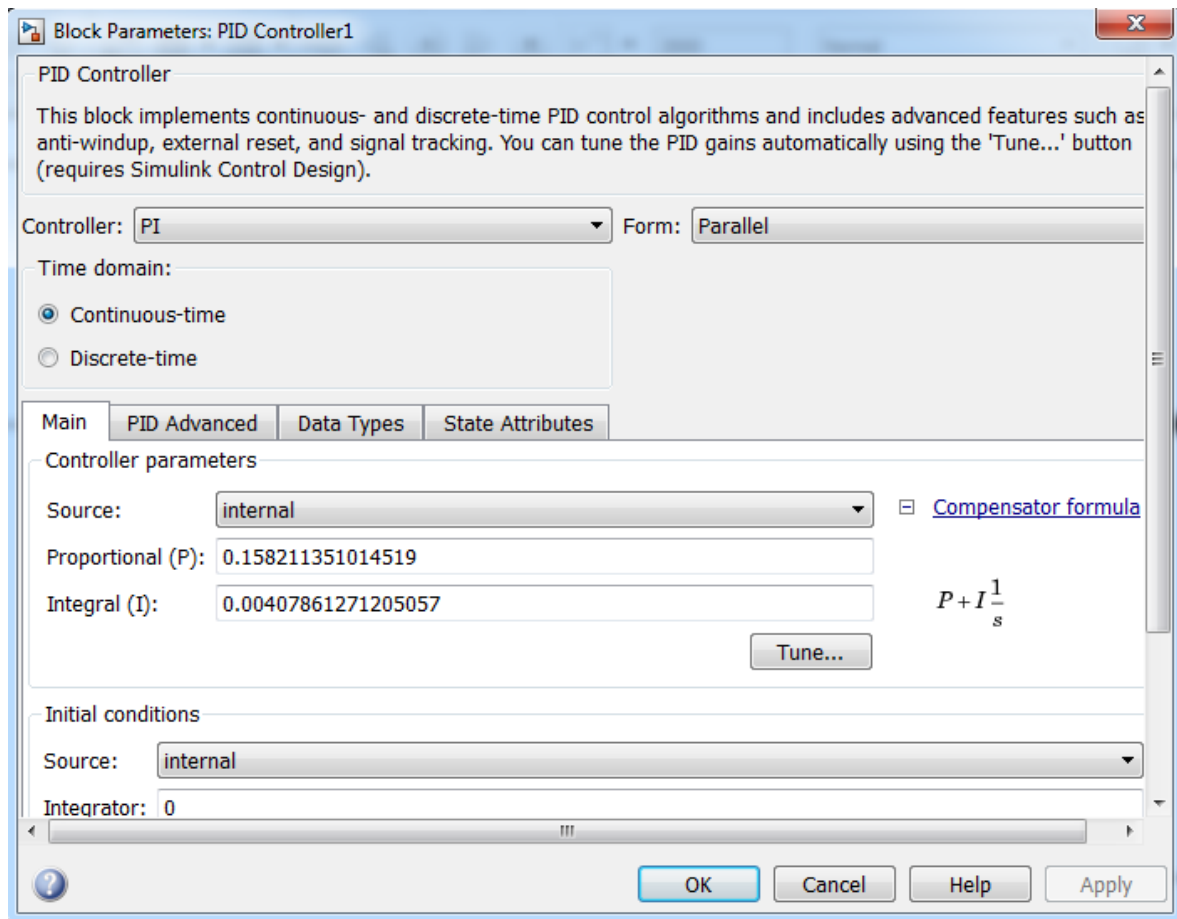


Рисунок 3.22 – Параметри регулятора

Загальний вигляд основного ПІД-регулятора:

$$W_P(p) = P + I \frac{1}{p} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{p}}$$

Для нашого випадку він матиме вигляд:

$$W_{OP}(p) = \frac{0,009p + 0,0002}{p + 0,02}$$

Загальний вигляд допоміжного ПІ-регулятора:

$$W_P(p) = P + I \frac{1}{p}$$

Для нашого випадку він матиме вигляд:

$$W_{DP}(p) = \frac{0,158p + 0,004}{p}$$

Проведемо структурні перетворення і одержимо еквівалентну функцію передачі:

$$W_{e2}(p) = \frac{W_{PO}(p) \cdot W_o(p) \cdot \frac{W_{DP}(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_{DP}(p)}}{1 + W_{PO}(p) \cdot W_o(p) \cdot \frac{W_{DP}(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_{DP}(p)}} ;$$

або

$$W_{e2}(p) = \frac{W_{PO}(p) \cdot W_o(p) \cdot W_{DP}(p)}{1 + W_{DP}(p) \cdot W_1(p) \cdot W_{PO}(p) \cdot W_o(p) \cdot W_{DP}(p)}$$

Отримаємо:

$$W_o(p) := \frac{168.111p^2 + 9.578p + 1}{5833.162p^3 + 802.536p^2 + 45.028p + 1}$$

$$W_d(p) := \frac{57.84p^2 - 2.143p + 1}{5416.453p^3 + 774.917p^2 + 44.682p + 1}$$

$$W_{d1}(p) := \frac{0.158p + 0.004}{p}$$

$$W_{o1}(p) := \frac{0.009p + 0.0002}{p + 0.02}$$

$$W_1(p) := \frac{W_{o1}(p) \cdot W_o(p) \cdot W_{d1}(p)}{1 + W_{d1}(p) \cdot W_d(p) \cdot (W_{o1}(p) \cdot W_o(p) \cdot W_{d1}(p))}$$

$$W_1(p) \begin{array}{l} \text{simplify} \\ \text{collect} \\ \text{float, 3} \end{array} \rightarrow \frac{7.91e21 \cdot p + 1.1e24 \cdot p^2 + 6.12e25 \cdot p^3 + 1.84e27 \cdot p^4 + 3.43e28 \cdot p^5 + 4.15e29 \cdot p^6 + 3.17e30 \cdot p^7 + 1.28e31 \cdot p^8 - 2.37e7}{4.16e21 \cdot p + 1.98e26 \cdot p^2 + 2.76e28 \cdot p^3 + 1.6e30 \cdot p^4 + 5.17e31 \cdot p^5 + 1.03e33 \cdot p^6 + 1.29e34 \cdot p^7 + 9.39e34 \cdot p^8 + 3.12e35 \cdot p^9 + 3.17e19}$$

Однією з найважливіших характеристик автоматичної системи керування поряд з точністю є стійкість. Причому, якщо показники точності визначають степінь корисності і ефективності системи, то від стійкості залежить працездатність системи.

Критерій Гурвіца

Оскільки критерій Гурвіца досліджує замкнуту систему, то для того, щоб записати характеристичне рівняння, треба прирівняти до знаменник передавальної функції розімкненого контуру. Тоді характеристичне рівняння має вигляд:

$$3,12 p^9 * 10^{16} + 9,39 p^8 * 10^{15} + 1,29 p^7 * 10^{15} + 1,03 p^6 * 10^{14} + 5,17 p^5 * 10^{12} + 1,6 p^4 * 10^{11} + 2,76 p^3 * 10^9 + 1,98 p^2 * 10^7 + 4,16 p * 10^3 + 3,17 = 0.$$

Всі коефіцієнти характеристичного рівняння додатні – виконується необхідна умова стійкості:

$$a_0 = 3,12 * 10^{16};$$

$$a_1 = 9,39 * 10^{15};$$

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | | | | | 39 |

$$a_2 = 1,29 \cdot 10^{15};$$

$$a_3 = 1,03 \cdot 10^{14};$$

$$a_4 = 5,17 \cdot 10^{12};$$

$$a_5 = 1,6 \cdot 10^{11};$$

$$a_6 = 2,76 \cdot 10^9;$$

$$a_7 = 1,98 \cdot 10^7;$$

$$a_8 = 4,16 \cdot 10^3;$$

$$a_9 = 3,17.$$

Запишемо головний визначник Гурвіца та всі його діагональні мінори:

$$\Delta_1 := \begin{pmatrix} 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} & 1.98 \cdot 10^7 & 3.17 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3.12 \cdot 10^{16} & 1.29 \cdot 10^{15} & 5.17 \cdot 10^{12} & 2.76 \cdot 10^9 & 4.16 \cdot 10^3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} & 1.98 \cdot 10^7 & 3.17 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3.12 \cdot 10^{16} & 1.29 \cdot 10^{15} & 5.17 \cdot 10^{12} & 2.76 \cdot 10^9 & 4.16 \cdot 10^3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} & 1.98 \cdot 10^7 & 3.17 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3.12 \cdot 10^{16} & 1.29 \cdot 10^{15} & 5.17 \cdot 10^{12} & 2.76 \cdot 10^9 & 4.16 \cdot 10^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} & 1.98 \cdot 10^7 & 3.17 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.29 \cdot 10^{15} & 5.17 \cdot 10^{12} & 2.76 \cdot 10^9 & 4.16 \cdot 10^3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} & 1.98 \cdot 10^7 & 3.17 \end{pmatrix}$$

$$|\Delta_1| = 3.837 \times 10^{88}$$

$$\Delta_2 := \begin{pmatrix} 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} & 1.98 \cdot 10^7 & 3.17 & 0 & 0 & 0 \\ 3.12 \cdot 10^{16} & 1.29 \cdot 10^{15} & 5.17 \cdot 10^{12} & 2.76 \cdot 10^9 & 4.16 \cdot 10^3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} & 1.98 \cdot 10^7 & 3.17 & 0 & 0 \\ 0 & 3.12 \cdot 10^{16} & 1.29 \cdot 10^{15} & 5.17 \cdot 10^{12} & 2.76 \cdot 10^9 & 4.16 \cdot 10^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} & 1.98 \cdot 10^7 & 3.17 & 0 \\ 0 & 0 & 3.12 \cdot 10^{16} & 1.29 \cdot 10^{15} & 5.17 \cdot 10^{12} & 2.76 \cdot 10^9 & 4.16 \cdot 10^3 & 3.17 \\ 0 & 0 & 0 & 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} & 1.98 \cdot 10^7 & 4.16 \cdot 10^3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.29 \cdot 10^{15} & 5.17 \cdot 10^{12} & 2.76 \cdot 10^9 & 1.98 \cdot 10^7 \end{pmatrix}$$

$$|\Delta_2| = 6.272 \times 10^{91}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 40 |

$$\Delta_3 := \begin{pmatrix} 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} & 1.98 \cdot 10^7 & 3.17 & 0 & 0 \\ 3.12 \cdot 10^{16} & 1.29 \cdot 10^{15} & 5.17 \cdot 10^{12} & 2.76 \cdot 10^9 & 4.16 \cdot 10^3 & 0 & 0 \\ 0 & 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} & 1.98 \cdot 10^7 & 3.17 & 0 \\ 0 & 3.12 \cdot 10^{16} & 1.29 \cdot 10^{15} & 5.17 \cdot 10^{12} & 2.76 \cdot 10^9 & 4.16 \cdot 10^3 & 0 \\ 0 & 0 & 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} & 1.98 \cdot 10^7 & 3.17 \\ 0 & 0 & 3.12 \cdot 10^{16} & 1.29 \cdot 10^{15} & 5.17 \cdot 10^{12} & 2.76 \cdot 10^9 & 4.16 \cdot 10^3 \\ 0 & 0 & 0 & 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} & 1.98 \cdot 10^7 \end{pmatrix} \quad |\Delta_3| = 3.26 \times 10^{84}$$

$$\Delta_4 := \begin{pmatrix} 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} & 1.98 \cdot 10^7 & 3.17 & 0 \\ 3.12 \cdot 10^{16} & 1.29 \cdot 10^{15} & 5.17 \cdot 10^{12} & 2.76 \cdot 10^9 & 4.16 \cdot 10^3 & 0 \\ 0 & 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} & 1.98 \cdot 10^7 & 3.17 \\ 0 & 3.12 \cdot 10^{16} & 1.29 \cdot 10^{15} & 5.17 \cdot 10^{12} & 2.76 \cdot 10^9 & 4.16 \cdot 10^3 \\ 0 & 0 & 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} & 1.98 \cdot 10^7 \\ 0 & 0 & 3.12 \cdot 10^{16} & 1.29 \cdot 10^{15} & 5.17 \cdot 10^{12} & 2.76 \cdot 10^9 \end{pmatrix} \quad |\Delta_4| = 1.673 \times 10^{77}$$

$$\Delta_5 := \begin{pmatrix} 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} & 1.98 \cdot 10^7 & 3.17 \\ 3.12 \cdot 10^{16} & 1.29 \cdot 10^{15} & 5.17 \cdot 10^{12} & 2.76 \cdot 10^9 & 4.16 \cdot 10^3 \\ 0 & 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} & 1.98 \cdot 10^7 \\ 0 & 3.12 \cdot 10^{16} & 1.29 \cdot 10^{15} & 5.17 \cdot 10^{12} & 2.76 \cdot 10^9 \\ 0 & 0 & 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} \end{pmatrix} \quad |\Delta_5| = 9.55 \times 10^{67}$$

$$\Delta_6 := \begin{pmatrix} 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} & 1.98 \cdot 10^7 \\ 3.12 \cdot 10^{16} & 1.29 \cdot 10^{15} & 5.17 \cdot 10^{12} & 2.76 \cdot 10^9 \\ 0 & 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} \\ 0 & 3.12 \cdot 10^{16} & 1.29 \cdot 10^{15} & 5.17 \cdot 10^{12} \end{pmatrix} \quad |\Delta_6| = 1.23 \times 10^{57}$$

$$\Delta_7 := \begin{pmatrix} 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} & 1.6 \cdot 10^{11} \\ 3.12 \cdot 10^{16} & 1.29 \cdot 10^{15} & 5.17 \cdot 10^{12} \\ 0 & 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} \end{pmatrix} \quad |\Delta_7| = 5.077 \times 10^{44}$$

$$\Delta_8 := \begin{pmatrix} 9.39 \cdot 10^{15} & 1.03 \cdot 10^{14} \\ 3.12 \cdot 10^{16} & 1.29 \cdot 10^{15} \end{pmatrix} \quad |\Delta_8| = 8.899 \times 10^{30}$$

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

Як бачимо, головний визначник Гурвіца та всі його діагональні мінори додатні, отже, система стійка.

Критерій Михайлова

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$3,12 p^9 + 9,39 p^8 + 1,29 p^7 + 1,03 p^6 + 5,17 p^5 + 1,6 p^4 + 2,76 p^3 + 1,98 p^2 + 4,16 p + 3,17 = 0$$

Прирівнюємо характеристичне рівняння до якоїсь функції від p

$$F(p) = 3.12 \cdot 10^{16} \cdot p^9 + 9.39 \cdot 10^{15} \cdot p^8 + 1.29 \cdot 10^{15} \cdot p^7 + 1.03 \cdot 10^{14} \cdot p^6 + 5.17 \cdot 10^{12} \cdot p^5 + 1.6 \cdot 10^{11} \cdot p^4 + 2.76 \cdot 10^9 \cdot p^3 + 1.98 \cdot 10^7 \cdot p^2 + 4.16 \cdot 10^3 \cdot p + 3.17$$

Зробимо заміну замість $p \rightarrow j\omega$ і запишемо вираз для годографа Михайлова.

Розділимо на дійсну і уявну частини

$$P(\omega) = 3.17 - 1.98 \cdot 10^7 \cdot \omega^2 - 1.6 \cdot 10^{11} \cdot \omega^4 - 1.03 \cdot 10^{14} \cdot \omega^6 - 9.39 \cdot 10^{15} \cdot \omega^8$$

$$Q(\omega) = 4.16 \cdot 10^3 \omega - 2.76 \cdot 10^9 \cdot \omega^3 - 5.17 \cdot 10^{12} \cdot \omega^5 - 1.29 \cdot 10^{15} \cdot \omega^7 - 3.12 \cdot 10^{16} \cdot \omega^9$$

Змінюючи частоту ω від 0 до ∞ , будуємо годограф Михайлова.

$$\omega = 0, 0.5 \dots 5$$

| $w =$ | $P(w) =$ | $Q(w) =$ |
|-------|------------------------|------------------------|
| 0 | 3.17 | 0 |
| 0.5 | $-3.83 \cdot 10^{13}$ | $-7.118 \cdot 10^{13}$ |
| 1 | $-9.493 \cdot 10^{15}$ | $-3.25 \cdot 10^{16}$ |
| 1.5 | $-2.418 \cdot 10^{17}$ | $-1.222 \cdot 10^{18}$ |
| 2 | $-2.41 \cdot 10^{18}$ | $-1.614 \cdot 10^{19}$ |
| 2.5 | $-1.435 \cdot 10^{19}$ | $-1.198 \cdot 10^{20}$ |
| 3 | $-6.168 \cdot 10^{19}$ | $-6.169 \cdot 10^{20}$ |
| 3.5 | $-2.116 \cdot 10^{20}$ | $-2.467 \cdot 10^{21}$ |
| 4 | $-6.158 \cdot 10^{20}$ | $-8.2 \cdot 10^{21}$ |
| 4.5 | $-1.58 \cdot 10^{21}$ | $-2.366 \cdot 10^{22}$ |
| 5 | $-3.67 \cdot 10^{21}$ | $-6.104 \cdot 10^{22}$ |

Рисунок 3.23 - Результати обчислень $P(\omega)$ і $Q(\omega)$

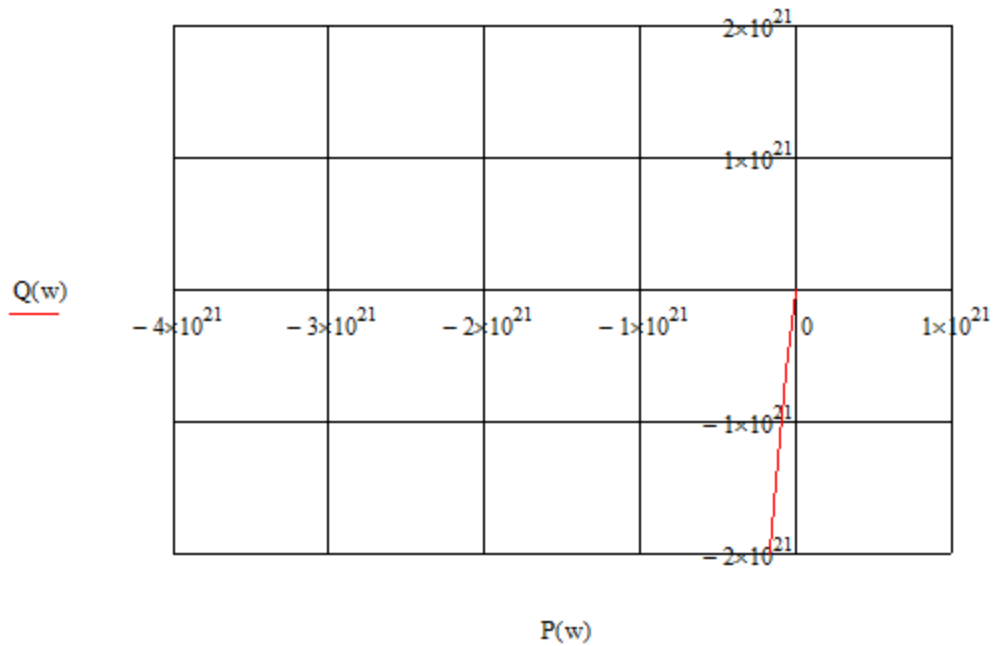


Рисунок 3.24 - Годограф Михайлова

Система стійка, бо годограф Михайлова починається на дійсній додатній осі, проти годинникової стрілки проходить два квадранти і в другому іде в нескінченність (характеристичне рівняння другого порядку).

Висновки до розділу

В даному розділі проведено аналіз та синтез одно контурної та каскадної систем керування. Досліджено та обрано оптимальні регулятори, проведено їх налагодження. Знайдено функції передачі обраних регуляторів, що використовуються для подальшого дослідження стійкості систем керування.. Дослідження систем керування на стійкість здійснено за допомогою критеріїв Гурвіца та Михайлова, які показали, що досліджувані системи є стійкими.

4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

4.1 Структурна схема ієрархічної системи керування та контролю

Структурні схеми є ключовим інструментом для побудови ефективної системи управління та контролю виробничим технологічним процесом. Вони дозволяють візуалізувати взаємозв'язки між пультами та щитами керування, робочими постами операторів основного технологічного обладнання, а також визначити адміністративно-технічну мету централізованого управління об'єктом.

Розробка автоматизованої системи керування технологічним процесом та збору необхідних даних здійснюється з урахуванням низки важливих вимог. Система повинна забезпечувати стабільну, безпечну та ефективну роботу підприємства, реалізуючи всі необхідні функції управління, включаючи регулювання технологічних параметрів і захист обладнання. Особливу увагу приділяється забезпеченню взаємодії в реальному часі між обслуговуючим персоналом і технічними засобами, які задіяні у виробничому процесі. Крім того, система повинна оперативно надавати інформацію, необхідну як для поточного управління, так і для ведення технологічного обліку.

У найзагальнішому вигляді структурну схему автоматизації можна подати як сукупність об'єкта керування та відповідної системи управління, з якими пов'язано досягнення заданих технологічних цілей. Ці цілі відображаються через параметри, що характеризують кінцеві результати функціонування технологічного процесу, а також перебіг процесу, його стабільність, економічність та безпечність. До таких основних параметрів відносяться величини, які безпосередньо впливають на якість та обсяг цільового продукту.

Поряд із основними, існують також допоміжні параметри, що мають бути стабілізовані або відслідковувані з метою забезпечення належного функціонування допоміжного обладнання та інженерної інфраструктури. Серед них — характеристики роботи установок підготовки технологічної пари, систем

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 44 |

оборотного водопостачання, компресорного або насосного обладнання тощо. Їх контроль і регулювання є невід’ємною частиною функціонування загальної системи автоматизації, яка в комплексі забезпечує цілісність, безперервність і безаварійність виробничого процесу.

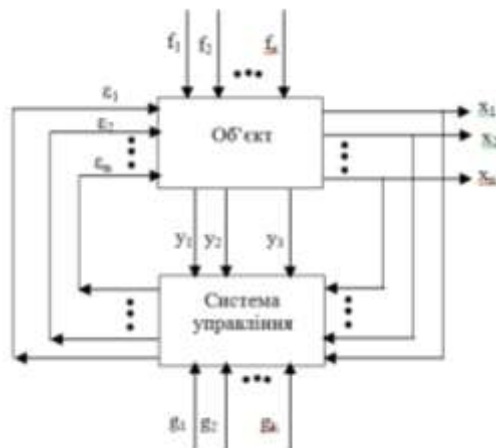


Рисунок 4.1 – Структурна схема системи автоматизації

Від цих установок потрібна тільки подача на вхід технологічної установки сировини і енергоносіїв із заданими параметрами. При цьому необхідне дозування подачі сировини і енергоносіїв здійснюється засобами управління, що відносяться до технологічної установки.

У процесі роботи на об'єкт поступають збурюючі впливи f_1, f_2, \dots, f_k , що викликають відхилення параметрів x_1, x_2, \dots, x_n від їх необхідних значень. Інформація про поточні значення $x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_j$ поступає в систему управління і порівнюється із заданими значеннями g_1, g_2, \dots, g_m , внаслідок чого система управління виробляє керуючі дії $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m$, для компенсації відхилень вихідних параметрів.

4.2 Розроблення функціональної схеми автоматизації

Вибір технічних засобів автоматизації (ТЗА) здійснюється з урахуванням їх функціонального призначення, метрологічних характеристик та умов експлуатації в конкретному технологічному середовищі. Особливу увагу приділяють таким метрологічним показникам, як межі вимірювання та клас точності, які визначають

придатність приладу до виконання покладених на нього завдань з необхідною точністю.

Межі вимірювання описуються як нижня та верхня межа діапазону, в межах якого прилад здатен забезпечувати достовірні показання. Точність, у свою чергу, визначається класом точності — числовим показником, що відображає відносну допустиму основну приведену похибку вимірювання у відсотках. Класи точності стандартизовані та відносяться до таких рядів значень: 0,01; 0,015; 0,02; 0,025; 0,04; 0,05; 0,06; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0.

При виборі засобів вимірювання важливо враховувати також специфічні вимоги до вибухозахисту. Залежно від конструктивного виконання, вибухозахищені прилади поділяються на вибухонепроникні, кварцонаповнені, маслонаповнені, а також спеціалізовані пристрої підвищеної точності з елементами вибухозахисту. Кожен із зазначених типів має власні конструктивні особливості, що забезпечують їх безпечну експлуатацію в умовах підвищеного ризику.

Після визначення типу приладу відповідно до його призначення і умов застосування, здійснюється вибір метрологічних характеристик. Спочатку встановлюються межі вимірювання, далі — відповідний клас точності. При цьому враховуються такі експлуатаційні вимоги до точності вимірювань:

- для вимірювання тиску допустима приведена похибка становить $\pm 0,5\%$, для сигналізації – $\pm 2,5\%$;
- для температури – допустиме відхилення не повинно перевищувати $\pm 1,0\text{ }^\circ\text{C}$;
- для витрати – похибка вимірювання повинна бути в межах $\pm 0,1\%$;
- для рівня – допустима похибка складає $\pm 0,1\%$, для сигналізації – $\pm 4\%$.

Таким чином, правильний вибір ТЗА з урахуванням зазначених характеристик і вимог є ключовим фактором забезпечення точного, безпечного та стабільного функціонування автоматизованої системи керування технологічним процесом.

Для каналу вимірювання температури обрано термоперетворювач з вихідним сигналом (уніфікованим) типу ТХА фірми «ТЕРА».

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 46 |

Термоперетворювачі (ТП) є занурювальними приладами і призначені для вимірювання температури в різних галузях промисловості. Матеріал захищеної арматури ТП – метал. Головка ТП – з алюмінію.



Рисунок 4.2 – Термоперетворювач ТХА 1-29

Дані датчики використовуються для перетворення температури рідких, твердих, газоподібних і сипких речовин в електричний уніфікований вихідний сигнал. Проводять вимірювання температури агресивних та нейтральних середовищ, що не проводять руйнування матеріалу захисної арматури.

Технічні характеристики:

- напруга живлення від 12 до 36 В постійного струму;
- діапазон температур від 0 до + 1100 °С;
- вихідний сигнал: 4-20 мА;
- максимальний опір навантаження: 1000 Ом;
- клас точності - 1,0

Для каналу вимірювання тиску вибираємо датчик тиску Rosemount 3051.

Rosemount 3051 — це високоточний інтелектуальний перетворювач тиску, розроблений компанією Emerson, який широко використовується в промислових системах для вимірювання диференціального, абсолютного та надлишкового тиску. Цей прилад відзначається високою точністю, надійністю та гнучкістю конфігурації, що робить його стандартом у багатьох галузях.

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | 47 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | | | | |

Основною перевагою Rosemount 3051 є його точність вимірювання — до $\pm 0,04\%$ від діапазону, що забезпечує високу достовірність даних у критичних процесах. Прилад має п'ятирічну стабільність на рівні $\pm 0,125\%$ від верхньої межі діапазону, що дозволяє зменшити потребу в частій калібровці та обслуговуванні.

Rosemount 3051 підтримує широкий діапазон вимірювань: до 2000 psi (137,89 бар) для диференціального та надлишкового тиску, а також до 4000 psi (275,79 бар) для абсолютного тиску. Завдяки можливості зменшення діапазону до 150:1, прилад може точно вимірювати як низькі, так і високі значення тиску, що робить його універсальним рішенням для різних застосувань.

Пристрій оснащений різноманітними комунікаційними протоколами, включаючи 4–20 mA HART, WirelessHART, FOUNDATION Fieldbus та PROFIBUS PA, що дозволяє легко інтегрувати його в існуючі системи автоматизації. Додатково, Rosemount 3051 може бути обладнаний бездротовим модулем з радіусом дії до 225 метрів, що спрощує встановлення в важкодоступних місцях.

Матеріали, з яких виготовлений прилад, включають 316L нержавіючу сталь, сплави C-276, 400, тантал та інші, що забезпечує його стійкість до агресивних середовищ. Прилад також має сертифікації SIL 2/3 відповідно до стандарту IEC 61508, що підтверджує його відповідність вимогам функціональної безпеки.

Завдяки своїм характеристикам, Rosemount 3051 широко застосовується в хімічній, нафтохімічній, енергетичній, харчовій та фармацевтичній промисловості, а також в системах водопостачання та очищення стічних вод. Його надійність, точність та гнучкість конфігурації роблять його ідеальним вибором для моніторингу та контролю тиску в різноманітних технологічних процесах.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 48 |



Рисунок 4.3 – Давач тиску Rosemount 3051

Для вимірювання витрати використовуємо витратомір моделі 8800, який належить до сімейства приладів Rosemount SMART FAMILY. Всі прилади даного сімейства використовуються для обміну даними протоколу HART .

Використання цифрової технології дозволяє витратоміру забезпечити максимальну точність і надійність вимірювань.



| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

Рисунок 4.4 – Витратомір Rosemount SMART FAMILY 8800

Робочі характеристики:

- витрата повітря (при $t=15\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $P=0..35\text{ кгс/см}^2$ $Q_{\min}=1,4..769\text{ м}^3/\text{год}$, $Q_{\max}=39,4..8853\text{ м}^3/\text{год}$), насиченої пари (при $P=1..35\text{ кгс/см}^2$, $Q_{\min}=6,7..4094\text{ кг/год}$, $Q_{\max}=54,6..157453\text{ кг/год}$), рідини ($Q_{\min}=0,41..27\text{ м}^3/\text{год}$, $Q_{\max}=5,38..885\text{ м}^3/\text{год}$);
- діапазон вимірювання температури від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+427\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- вихідний сигнал : 4 – 20 мА.

Для вимірювання рівня використовуємо радіолокаційний безконтактний датчик УЛМ4.01.000. В основу роботи датчика покладено принцип безконтактного радіолокаційного вимірювання віддалі до рівня розділу середовищ. В процесі роботи датчик не має контакту з внутрішнім об'ємом резервуару.

Основні характеристики:

- атмосферний тиск 84-106 кПа;
- відносна вологість – 90% при $35\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- вихідний сигнал– 4 до 20 мА;
- глибина занурення –до 30 м;
- температура навколишнього середовища від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Для сигналізації рівня використаємо сигналізатор рівня OPTISWITCH 400 С



Рисунок 4.5 - Сигналізатор рівня OPTISWITCH 5000

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 50 |

OPTISWITCH 5000 — це високонадійний вібраційний рівнемір від компанії KROHNE, призначений для точного контролю рівня рідин у промислових процесах. Його конструкція базується на принципі вібруючого вилкового елемента, що забезпечує стабільну роботу навіть у складних умовах, таких як наявність піни, бульбашок повітря, турбулентності або зміни властивостей середовища.

Цей прилад здатен працювати в широкому діапазоні температур — від -50 до +250 °С, та витримує тиск до 64 бар, що робить його придатним для використання в агресивних середовищах і високотемпературних процесах. Він також має високу точність з повторюваністю спрацьовування до ± 2 мм, що гарантує надійне виявлення рівня рідини.

OPTISWITCH 5000 пропонує різноманітні варіанти вихідних сигналів, включаючи релейні, транзисторні, NAMUR, безконтактні електронні перемикачі та двопровідні інтерфейси. Це забезпечує гнучкість інтеграції приладу в різні системи автоматизації. Крім того, він доступний у корпусах з пластику, алюмінію або нержавіючої сталі, що дозволяє вибрати оптимальний варіант залежно від умов експлуатації.

Завдяки своїй універсальності та надійності, OPTISWITCH 5000 широко застосовується в хімічній, харчовій, фармацевтичній, нафтохімічній промисловості, а також у системах водопостачання та очищення стічних вод. Його здатність точно визначати рівень рідини робить його незамінним інструментом для забезпечення безпеки та ефективності технологічних процесів.

Використано клапани серії KMP з приводами DP 32 та електропневматичним позиціонером марки Sipart PS2, що призначено для автоматичного управління газоподібними та рідкими потоками середовища, а також в газу, пари, води, нафти, нафтопродуктів та ін.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 51 |



Рисунок 4.6 – Клапан серії КМР

Основні характеристики клапанів серії КМР:

- допустимий тиск, МПа: 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10,0; 16,0;
- розміри, мм: 10, 15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150;
- пропускна характеристика: лінійна, рівнопроцентна, мають розширений діапазон регулювання;
- діапазон виконання по температурі оточуючого середовища складає від -60 до +700С;
- матеріал корпусу: сталь 20, 09Г2С, 10Х17Н13М2Т, 12Х18Н10Т,.

Привід моделі DP 32 виконаний для проведення економічної та надійної роботи клапана серії КМР. До особливостей клапана належать використання зворотної пружини, а також можливість реверсування в польових умовах між діями «пружина закриває» та «пружина відкриває». Привід може бути використаний як в режимі регулювання так і для роботи «відкритий-закритий».

Позиціонер Sipart PS2 має простий монтаж і автоматичний ввід в експлуатацію, ручний режим і конфігурування прибору через три клавіші управління і зручний ЖК – дисплей в два стовпця, малу витрату повітря в робочому

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | 52 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | | | | | |

режимі, функції «герметизації», діагностики для вентиля і привода, не чутливий до вібрацій завдяки малорухливій вазі.



Рисунок 4.7 – Електропневматичний позиціонер Sipart PS2

Поставляється з трьома комунікаціями:

- комунікація 4-20 мА – техніка управління через сигнал HART;
- комунікаційний інтерфейс PROFIBUSPA (EEXia);
- комунікаційний інтерфейс Foundation Fieldbus (FF).

Функції керування реалізуємо програмно на мікропроцесорному контролері SimaticS7-300.

Загальний вигляд SimaticS7-300 наведений на рисунку 4.8.

Застосовують контролер SimaticS7-300 для автоматизації машин спеціального призначення, пакувальних та текстильних машин, машинобудівельного обладнання, обладнання для вироблення технічних засобів управління і електротехнічного обладнання, в системах водопостачання і т.д.

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | 53 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | | | | | |

Коротко опишемо характеристики контролера SimaticS7-300:

- модульний програмуючий контролер для розв'язання задач автоматизації низького і середнього рівня складності;
- використання розподілених структур вводу/виводу і просте включення в мережеві конфігурації;
- зручна конструкція і робота з природним охолоджувачем;
- висока потужність завдяки наявності великої кількості вбудованих функцій.

Таблиця 4.1 - Основні технічні характеристики центральних процесорів S7-300

| CPU | 314 | 315 | 315-2 DP |
|---|--------------|--------------|-----------------|
| Робоча пам'ять | 32 КБ | 48 КБ | 64 КБ |
| Пам'ять завантаження | 64КБ - 4 МБ | 64КБ - 8 МБ | 64КБ - 8 МБ |
| Кількість каналів в/в: | | | |
| • дискретних | до 512 | до 1024 | до 1024 |
| • аналогових | до 64 | до 256 | до 256 |
| Кількість модулів у системі | до 32 | до 32 | до 32 |
| Кількість прапорців/таймерів/лічильників | 1024/128/128 | 2048/256/256 | 16384/256/256 |
| Вмонтованих інтерфейсів | MP1 | MP1 | MP1 + DP |
| Кількість активних комунікаційних з'єднань, не більше | 6 | 12 | 16 |
| Розміри, мм | 40x125x130 | 40x125x130 | 40x125x130 |

Така система автоматизації проводить дворівневий контроль та регулювання технологічними параметрами. На нижньому рівні керування, регулювання та сигналізація проводиться за допомогою мікропроцесорного контролера Simatic S7-300.

Вимірювання регулювання та контроль температури продуктів на виході та вході печі П-1, у реакторах Р-1, Р-2, Р-3, Р-4, у адсорбері АБ-1 та адсорбері АД-1 здійснюється в такому порядку: електричний сигнал від давача температури ТХА 1-29 (позиція 3-а, 4-а, 5-а, 6-а, 7-а, 8-а, 11-а, 12-а, 16-а, 17-а, 18-а, 21-а, 23-а, 26-а, 28-

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 55 |

а по кабелю поступає на контролер Simatic S7-300 дані з якого відображаються на моніторі ППК.

Температура на виході із П-1 регулюється шляхом зміни подачі палива в піч, таким чином для регулювання цього технологічного параметру потрібно мати значення температури продукту на виході, що отримано за допомогою використаного термометра опору ТХА 1-29 (позиція 17-а, 1-а), який підключається до контролера Simatic S7-300, і витрати пари (методика вимірювання витрати описана нижче). Після отримання фізичних даних про температуру і витрату мікроконтролер формує керуючу дію виконавчому механізму (позиція 1-є, 17-д) на лінії подачі палива в піч П-1, і на лінії подачі повітря в піч.

Вимірювання, керування та регулювання тиску верху і низу реакторів Р-1, Р-2, Р-3, Р-4, та для адсорбера АБ-1 і адсорбера АД-1, також на вході і на виході турбіни Тр-1 і компресора КМ-2, і на виході компресора КМ-1 здійснюється так: за допомогою давача Rosemount 3051, (позиція 9-а, 10-а, 14-а, 15-а, 19-а, 22-а, 24-а, 25-а, 28-а, 30-а.), що монтовано в місцевій шафі, покази тиску перетворюється в електричний уніфікований сигнал 4-20мА, що поступає на мікропроцесорний контролер. Значення вимірюваного тиску відображається на моніторі ППК.

Вимірювання, контроль та регулювання витрати сировини і пари на вході в П-1і здійснюється таким чином: електричний сигнал від витратоміра типу Rosemount SMART FAMILY 8800 (позиції 1-а, 2-а) поступає на вхід модуля контролера Simatic S7-300 та відображає на моніторі ППК поточне значення вимірюваної витрати, поставлене завдання та регулюючу дію. З клемних блочних затискачів регулююча дія іде у вигляді електричного уніфікованого сигналу 4-20мА на позиціонер виконавчого механізму (позиція 1-є), що монтований на трубопроводі.

Контролювання витрати води на лінії виводу з сепаратора С-1 (13-а) здійснюється аналогічно до каналу вимірювання температури.

Вимірювання, керування та регулювання рівня сировини знизу абсорбера АБ - 1 проводиться таким чином: електричний сигнал від рівнеміра OPTISWITCH 5000 (позиція 20-а) поступає на мікропроцесорний контролер. Значення вимірюваної

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | | | | | 56 |

витрати відображається на моніторі ПК. Вимірювання і сигналізація рівня води у сепараторі С-1 здійснюється подібним чином, але сигнал поступає з сигналізатора рівня OPTISWITCH 5000.

Верхній рівень автоматизації створюється за допомогою SCADA-системи (приклад TIA Portal). Вона дозволяє забезпечувати відображення протікання технологічного процесу на моніторі ПК, відображення його параметрів, технологічну, а також аварійну сигналізацію, архівацію даних для майбутньої статистики. Використовуючи її оператор здійснює дистанційне налаштування регуляторів та зміну їх завдання під час протікання технологічного процесу.

Висновки до розділу

В даному розділі розроблено функціональну схему автоматизації процесу парової каталітичної конверсії легких вуглеводнів. Підбрано сучасні технічні засоби автоматизації, зокрема контролер фірми SimaticS7-300, термоперетворювач ТХА 1-29, давач тиску Rosemount 3051, витратомір Rosemount SMART FAMILY 8800, сигналізатор рівня OPTISWITCH 5000, клапан серії КМР, електропневматичний позиціонер Sipart PS2.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 57 |

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В першому розділі бакалаврської роботи описано призначення установки процесу парової каталітичної конверсії легких вуглеводнів — виробництво водню, потреба в якому зростає з року в рік у зв'язку з постійним поглибленням процесів переробки нафти, підвищенням вимог до якості одержуваних палив і змащувальних матеріалів, а також у зв'язку з необхідністю знесірчення енергетичного палива. Проведено опис технологічного процесу парової каталітичної конверсії легких вуглеводнів, обрано параметри управління, сигналізації.

В другому розділі проведено математичний опис обраного об'єкта керування. В якості об'єкта керування досліджено адсорбер, що відноситься до одних з найосновніших частин установки. На основі даних експерименту було визначено передавальні функції по каналах: «температура на вході в адсорбер» (основний канал) та «тиск в адсорбері» (допоміжний канал).

В третьому розділі проведено аналіз та синтез одноконтурної та каскадної систем керування. Досліджено та обрано оптимальні регулятори, проведено їх налагодженням. Знайдено функції передачі обраних регуляторів, що використовуються для подальшого дослідження стійкості систем керування.. Дослідження систем керування на стійкість здійснено за допомогою критеріїв Гурвіца та Михайлова, які показали, що досліджувані системи є стійкими.

В четвертому розділі розроблено функціональну схему автоматизації процесу парової каталітичної конверсії легких вуглеводнів. Підібрано сучасні технічні засоби автоматизації, зокрема контролер фірми SimaticS7-300, термоперетворювач ТХА 1-29, давач тиску Rosemount 3051, витратомір Rosemount SMART FAMILY 8800, сигналізатор рівня OPTISWITCH 5000, клапан серії КМР, електропневматичний позиціонер Sipart PS2.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 58 |

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с.
2. Кравченко В. П., Койфман О. О., Сімкін О. І. Автоматизація технологічних процесів і виробництв у чорній металургії : навчальний посібник. Одеса : Олді+, 2023. 276 с.
3. Я.І. Проць, О.А. Данилюк, Т.Б. Лобур Автоматизація неперервних технологічних процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Тернопіль: ТДТУ ім. І.Пулля, 2008. – 239с
4. Аблесімов О. К. Теорія автоматичного керування : навчальний посібник / О. К. Аблесімов – К. : «Освіта України», 2019. – 270 с
5. Теорія автоматичного керування : навчальний посібник / П. В. Леонт'єв та ін. ; за заг. ред. П. В. Леонт'єва. – Суми : Сумський державний університет, 2024. – 296 с.
6. SimaticS7-300. Режим доступу: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/systemy-avtomatyzatsiyi/systemy-promyslovoi-avtomatyzatsiyi-simatic/plc-kontrolery-simatic/simatic-s7-300.html>.
7. Модель 1-29. Режим доступу: <https://ao-tera.com/ru/1-29>
8. Датчик тиску Rosemount 3051. Режим доступу: <https://trade-control.com.ua/ua/rosemount-3051>.
9. Датчик витрати Rosemount 8800. Режим доступу: <https://trade-control.com.ua/ua/products/rosemount-8800>.
10. Сигналізатор рівня OPTISWITCH 5000. Режим доступу: <https://ua.krohne.com/en/products/level-measurement/level-switches/vibration-level-switches/optiswitch-5200>.

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | 59 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БР. АКП-13.00.00.000 ПЗ | | | | | |