

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКПз -22.00.00.000 ПЗ

група АКПз -23-1К

Олег Зуб'як

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

Зуб'як Олег Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.518
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Удосконалення системи автоматизації установки з виробництва інгібітора корозії
(назва роботи)

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

174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(шифр і назва спеціальності)

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

Нормоконтроль

асистент Л. І. Лагойда
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент М.І. Когутяк
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКПз-23-1К О. Р. Зуб'як
(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 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ

А.І. Лагойда.

« » 20 року

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

Зуб'яку Олегу Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення системи автоматизації установки з виробництва інгібітора корозії

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 20 25 року № 53/8

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 інгібітора корозії

2. Математичний опис об'єкта керування. 3. Побудова та перевірка на стійкість одноконтурної та каскадної АСР; 4. Розробка функціональної схеми автоматизації та вибір технічних засобів автоматизації.

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

Лист 1 - Технологічна схема автоматизації - БР.АКПз-22.00.00.001

Лист 2 - Функціональна схема автоматизації - БР.АКПз-22.00.00.002

Лист 3 - Результати апроксимації - БР.АКПз-22.00.00.003

Лист 4 - Результати синтезу одноконтурної АСР - БР.АКПз-22.00.00.004

Лист 5 - Результати синтезу каскадної АСР - БР.АКПз-22.00.00.005

Лист 6 - Дослідження стійкості АСР - БР.АКПз-22.00.00.006

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота містить: 58 сторінки, 28 рисунків, 5 таблиця, 5 джерел.

Тема: «Удосконалення системи автоматизації установки з виробництва інгібітора корозії».

Об'єкт дослідження: процес виробництва інгібітору корозії.

Мета: створення системи автоматизації процесу виробництва інгібітору корозії.

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

Результати бакалаврської роботи.

Описана установка виробництва інгібітору корозії, приведено детальний опис технологічного процесу. Визначено на якому рівні слід контролювати/регулювати технологічні параметри на установці

Проведено математичний опис об'єкта керування – реактора. Проведено вибір регулятора для одноконтурної АСК та знайдено його оптимальні параметри налаштування. Змодельована також каскадної АСК, знайдено параметри налаштування основного та допоміжного регуляторів. Отримані їх передавальні функції. Проведено дослідження на стійкість одноконтурної системи за критерієм Гурвіца та критерієм Михайлова, а також дослідження еквівалентної передавальної функції каскадної АСК на стійкість за допомогою критерія Найквіста. Досліджувані АСК є стійкими.

Описано контури регулювання функціональної схемі автоматизації. Проаналізовано загальні вимоги до вибору технічних засобів автоматизації. Підбрано та описано сучасні технічні засоби автоматизації, що відповідають поставленим вимогам.

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

ABSTRACT

Bachelor's thesis contains: 58 pages, 28 figures, 5 tables, 5 sources.

Topic: "Improvement of the automation system of a corrosion inhibitor production plant".

Object of research: the corrosion inhibitor production process.

Goal: creation of an automation system for the corrosion inhibitor production process.

Research methods. The work uses methods of system analysis, mathematical modeling and automatic control theory. The stability criterion is used to study the dynamics of automatic control systems.

Results of the bachelor's thesis.

The corrosion inhibitor production plant is described, a detailed description of the technological process is given. It is determined at what level the technological parameters on the plant should be controlled/regulated

A mathematical description of the control object - the reactor is carried out. The regulator for a single-loop ASC is selected and its optimal settings are found. The cascade ASC is also modeled, the settings of the main and auxiliary regulators are found. Their transfer functions are obtained. A study of the stability of a single-loop system using the Hurwitz criterion and the Mikhailov criterion was conducted, as well as a study of the equivalent transfer function of a cascade ACS for stability using the Nyquist criterion. The studied ACS are stable.

The control loops of the functional automation scheme are described. The general requirements for the selection of technical means of automation are analyzed. Modern technical means of automation that meet the requirements are selected and described.

Keywords: automatic system, production of corrosion inhibitor, regulation, technical means of automation.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	8
1	АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ІНГІБІТОРУ КОРОЗІЇ.....	10
	1.1 Склад і призначення установки, суть процесу	10
	1.2 Характеристика сировини і продуктів.....	11
	1.3 Опис технологічного процесу.....	13
	1.4 Вибір параметрів управління.....	15
	Висновки до розділу	16
2	МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ.....	17
	2.1 Структурна схема об'єкта керування.....	17
	2.2 Експериментальне моделювання керованого об'єкта.....	17
	Висновки до розділу	23
3	ПОБУДОВА ТА ПЕРЕВІРКА НА СТІЙКІСТЬ ОДНОКОНТУРНОЇ ТА КАСКАДНОЇ АСР.....	24
	3.1 Вибір регулятора.....	24
	3.2 Розрахунок оптимальних параметрів налаштування регулятора для одноконтурної АСР.....	26
	3.3 Перевірка на стійкість одноконтурної АСР.....	31
	3.4 Розрахунок оптимальних параметрів налаштування регулятора для каскадної АСР.....	34
	3.5 Перевірка на стійкість каскадної АСР.....	37
	Висновки до розділу	38
4	РОЗРОБКА ФСА ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АТОМАТИЗАЦІЇ.....	39

					БР.АКПз-22.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення системи автоматизації установки виробництва інгібітору корозії	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Зуб'як О.Р.						
Перевір.		Фешанич Л.І.					6	
Реценз.		Когутяк М.І.				ІФНТУНГ АКПз-23-1К		
Н. Контр.		Лагойда Л.І.						
Затверд.		Лагойда А.І.						

4.1	Опис функціональної схеми автоматизації.....	39
4.2	Вибір технічних засобів автоматизації.....	40
	Висновки до розділу.....	55
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	57
	СПИСОК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	58

ВСТУП

Проблема корозії металів залишається надзвичайно актуальною та складною для вирішення, спричиняючи щорічно значні економічні втрати. Основні збитки обумовлені не лише втратою металу як матеріалу, а насамперед високою вартістю зруйнованих конструкцій та значними непрямими втратами, що виникають унаслідок виходу з ладу обладнання та інфраструктури.

У промислових та видобувних секторах України проблема захисту металевих елементів від корозії є особливо гострою. Зокрема, нафтогазотранспортне обладнання становить серйозну екологічну загрозу через вміст вибухонебезпечних речовин і їхній негативний вплив на навколишнє середовище — атмосферне повітря, водні ресурси, ґрунти, флору, фауну та, передусім, здоров'я людини. Екологічні ризики, пов'язані з порушенням природного ландшафту, знищенням тваринного світу, деградацією ґрунтово-рослинного покриву, а також забрудненням атмосфери, гідросфери та літосфери, є суттєвими при будівництві трубопровідних систем незалежно від їх призначення.

Корозійне руйнування труб, що застосовуються у нафтовидобутку, є серйозною технічною проблемою і для видобувної галузі загалом. Значна частина вітчизняних нафтогазових родовищ характеризується високим ступенем обводненості, що ускладнює процеси підготовки, збору та транспортування нафти. Це зумовлює прискорене зношення обладнання, руйнування трубопроводів, утворення стійких емульсій та відкладання неорганічних солей.

З метою протидії цим процесам у нафтогазовій промисловості активно застосовуються інгібітори корозії. Їх використовують для захисту обладнання свердловин, установок первинної підготовки нафти й газу, а також на переробних підприємствах, де у продукції присутні агресивні компоненти, зокрема CO_2 , H_2S та органічні кислоти. У таких випадках ефективними є

				БР. АКПЗ-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		8

високомолекулярні органічні інгібітори, які містять атоми азоту, сірки або кисню та є розчинними у вуглеводнях, воді чи метанолі.

Процес виготовлення інгібіторів корозії реалізується у напівбезперервному режимі й передбачає взаємодію амінітрилу (ЦЕДА), поліетиленполіаміну (ПЕПА) з кислотами легких фракцій талового масла. Отриманий реакційний продукт змішують з прямогонним бензином і газовою фракцією для отримання готової композиції.

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		9

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ІНГІБІТОРУ КОРОЗІЇ

1.1 Склад і призначення установки, суть процесу

Інгібітори корозії — це хімічні сполуки, які уповільнюють або повністю зупиняють процес корозії металів шляхом конкурентної адсорбції з активними компонентами середовища та утворення захисних адсорбційних або фазових плівок на поверхні металу. Ці плівки можуть мати бар'єрні властивості та впливати на кінетику електродних реакцій, що супроводжують корозійні процеси. Інгібітори також сприяють формуванню на поверхні металу оксидних, гідроксидних або інших захисних шарів, здатних переводити метал у пасивний стан.

Залежно від типу агресивного середовища розрізняють інгібітори, ефективні при сірководневій та вуглекислотній корозії, а також для захисту систем утилізації стічних вод. Питома витрата інгібіторів визначається хімічним складом середовища та умовами експлуатації й зазвичай коливається в межах 10–50 кг на 1 млн м³ газу або 100–500 мг/л у рідких середовищах. У процесах гідравлічного транспортування вугілля, зокрема, застосовують гідроксид кальцію (Ca(OH)₂) як інгібітор.

У нафтовій і газовій промисловості інгібітори корозії широко використовуються для захисту обладнання свердловин, установок підготовки нафти й газу, а також нафтопереробних підприємств, де у продукції наявні корозійно-агресивні компоненти — зокрема, двоокис вуглецю, сірководень і органічні кислоти. У таких умовах перевага надається високомолекулярним органічним сполукам, що містять атоми азоту, сірки або кисню, та характеризуються здатністю розчинятись у вуглеводнях, воді або метанолі.

Виробництво інгібітора корозії марки “Нафтохім” здійснюється у напівбезперервному режимі. Процес передбачає хімічну взаємодію амініотрилу (ЦЕДА), поліетиленполіаміну (ПЕПА) та кислот з легких фракцій талового масла

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		10

з подальшим змішуванням отриманого напівпродукту з прямогонним бензином та газовою фракцією. Видалення парів вологи з реакційної суміші суттєво прискорює швидкість перебігу основної реакції.

Тривалість процесу одержання напівпродукту при температурі 130–140 °С становить 8–10 годин. Подальше змішування з розчинником здійснюється у безперервному режимі. Синтез амінів проводиться періодично в реакторах типу М1 та М2.

1.2 Характеристика сировини і продуктів

Вихідним продуктом у процесі синтезу є інгібітор корозії, що являє собою суміш продуктів реакції амінів із жирними кислотами талового масла. Отримана композиція формує стійку захисну плівку на поверхні вуглецевої сталі, ефективно запобігаючи як загальній, так і локальній корозії, зокрема у високомінералізованих середовищах, які містять сірководень, розчинений двоокис вуглецю та кисень.

Застосування інгібітора корозії є багатофункціональним. Його використовують:

- як захисний реагент для обладнання нафтовидобувного комплексу та водоводів, схильних до корозії під дією пластових і стічних вод, особливо в системах підтримання пластового тиску та збору нафти;
- як емульгатор для створення зворотних емульсій у процесах буріння та глушіння свердловин.

Препарат додається до бурового розчину в концентраціях від 0,25% до 1,5% за масою, залежно від умов застосування. При цьому максимально допустимий вміст хімічного продукту в товарній нафті становить 0,015% за масою.

Інгібітор корозії випускається у вигляді кількох марок, що відрізняються між собою фізико-хімічними характеристиками, адаптованими до конкретних умов експлуатації.

				БР. АКПЗ-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		11

Інгібітори корозії марок "Нафтохім 1М", "Нафтохім 2М", "Нафтохім 3М", "Нафтохім НС", "Нафтохім 40", "Нафтохім 60" та "Нафтохім 80" відрізняються за фізико-хімічними характеристиками.

Усі марки характеризуються як однорідні рідини темно-коричневого кольору, причому "Нафтохім 1М" описується як рухома рідина, а "Нафтохім 2М" — як малорухлива.

Щільність при 20 °С і 50 °С становить відповідно:

- для марок 1М, 2М, 3М: 0,810 г/см³ і 0,830 г/см³;
- для марки НС: 0,895 г/см³;
- для марки 40: 0,933 г/см³.

Кислотне число має такі значення:

- "Нафтохім 1М", 2М, 3М — від 8 до 30 мг КОН/г;
- "Нафтохім НС" — 15–40 мг КОН/г;
- "Нафтохім 40" — 30–35 мг КОН/г;
- "Нафтохім 60" — 30–40 мг КОН/г.

Температура застигання, не вище:

- "Нафтохім 1М", 3М, НС — мінус 40 °С;
- "Нафтохім 2М" — мінус 15 °С;
- "Нафтохім 40" — мінус 30 °С;
- "Нафтохім 60" — мінус 20 °С.

Захисна здатність при концентрації інгібітора:

- у дозуванні 50 мг/л всі марки демонструють ефективність 90–92%;
- у дозуванні 25 мг/л — ефективність становить 80–85%.

Інгібітори серії «Нафтохім» мають спільну рису — темно-коричневий колір, однак за фізико-хімічними властивостями суттєво відрізняються. "Нафтохім 1М" є однорідною рухомою рідиною, тоді як "Нафтохім 2М" — малорухливою, що свідчить про різницю у в'язкості й, відповідно, у динаміці використання в технологічних системах.

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		12

Щільність інгібіторів також варіюється. Найменшу щільність (0,810 г/см³ при 20 °С) мають марки 1М, 2М і 3М, що може бути перевагою в системах з низьким тиском або потребою в легкій композиції. Найвища щільність зафіксована у "Нафтохім 40" (0,933 г/см³), що може свідчити про підвищену стабільність та вміст активних компонентів.

За кислотним числом вирізняється "Нафтохім 40", який демонструє стабільний діапазон 30–35 мг КОН/г. Водночас "Нафтохім НС" має найбільший розкид (15–40 мг КОН/г), що може вказувати на ширший спектр активних сполук або варіативність у виробництві.

Температурна стійкість є критичним параметром для експлуатації в холодному кліматі. Найнижча температура застигання (–40 °С) характерна для марок 1М, 3М і НС, що забезпечує їх ефективність у зимовий період. Натомість "Нафтохім 2М" із температурою застигання –15 °С обмежений у використанні в холодних умовах.

Захисна здатність усіх марок є високою при концентрації 50 мг/л (90–92%). Проте за зниження дози до 25 мг/л найбільш стійкими залишаються "Нафтохім 3М" і "НС", які зберігають ефективність на рівні 85%, що робить їх привабливими в умовах економії реагенту.

Отже, для експлуатації в умовах низьких температур доцільно обирати "Нафтохім 1М", "3М" або "НС". За потреби високої щільності й стабільного кислотного складу варто звернути увагу на "Нафтохім 40" або "60". Найкращі показники захисту при знижених концентраціях демонструють "Нафтохім 3М" і "НС", що робить їх оптимальними для економного і ефективного застосування.

Сировиною для виробництва інгібітору корозії є амінітрил (ЦЕДА) та поліетиленполіамін (ПЕПА).

1.3 Опис технологічного процесу

У реакційні апарати типу М1 та М2, обладнані паровими фільтрами Ф-1 і Ф-2, подається розрахункова кількість основних реагентів — поліетиленполіамін

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		13

(ПЕПА) та амінітрил (ЦЕДА). Окремо вводиться талове масло. Реактори оснащені системами перемішування та контрольно-вимірювальними приладами, зокрема рівнемірами, що забезпечують контроль процесу.

Змішування компонентів відбувається в реакційних апаратах протягом 20–30 хвилин, після чого здійснюється відбір проб для визначення початкового кислотного числа. Температура реакційної маси в межах 40–140 °С змінюється внаслідок теплового ефекту, що супроводжує перебіг реакцій між компонентами. За умови досягнення температури 95 °С реакційна суміш циркулює по замкнутому контуру (M1–H1–T1–M1 або M2–H1–T1–M2) протягом 90 хвилин з метою забезпечення інтенсивного перемішування. Підігрів здійснюється зі швидкістю 5–8 °С/хв.

У разі появи піноутворення температуру суміші знижують до повного усунення піни. При досягненні температури 100–120 °С проводиться температурна зупинка, що забезпечує повне видалення вологи з реакційного середовища. Після цього відбирається чергова проба для визначення кислотного числа. Якщо спостерігається зниження кислотного числа менш ніж удвічі порівняно з початковим значенням, суміш охолоджують до температури 95 °С.

Охолоджена реакційна маса за допомогою насоса Н-1 подається у теплообмінник Х-1, де охолоджується до температури 40–50 °С, після чого направляється у проміжну місткість Е-1. Із зазначеної місткості готова напівпродуктова маса подається насосами Н-2 та Н-2р до кавітаційного змішувача З-1. У цей змішувач одночасно вводяться бензин і гас, витрати яких перебувають під контролем та регулюванням.

Готовий інгібітор корозії марки “Нафтохім” надходить трубопроводом у резервуарний парк для зберігання. Загальна продуктивність установки становить приблизно 2500 кг на годину.

				БР. АКПЗ-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		14

1.4 Вибір параметрів управління

Контролю підлягають ті технологічні параметри, значення яких безпосередньо впливають на оперативне управління технологічним процесом. До таких параметрів належать усі режимні, а також вхідні та вихідні параметри, зміна яких викликає збурення в об'єкті керування.

Автоматизований об'єкт, як правило, складається з кількох взаємопов'язаних між собою ділянок управління. Ці ділянки можуть фізично реалізовуватися як окремі агрегати або технологічні установки, а також у вигляді локальних контурів регулювання окремих параметрів у межах одного й того ж обладнання.

Управлінська система має охоплювати всі рівні регулювання процесу та передбачати наявність кількох керувальних пунктів, які функціонують у взаємозв'язку. Така система повинна забезпечувати досягнення технологічної мети з необхідною точністю та стабільністю, дотримання регламентованих параметрів виробництва, а також надійну, безаварійну експлуатацію обладнання з урахуванням вимог вибухо- та пожежобезпеки. Крім того, одним із ключових критеріїв є простота та зручність обслуговування системи.

Одним із важливих завдань при проектуванні систем автоматизації є правильний вибір керованих параметрів — тих, які підлягають аналізу, регулюванню, контролю та за допомогою яких можливо своєчасно виявляти передаварійні стани об'єкта. Досягнення ефективного управління значною мірою залежить від доцільного вибору технічних засобів, що реалізують обрану стратегію керування.

Основні технологічні параметри установки наведені в таблиці 1.1.

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		15

Таблиця 1.1 - Основні параметри технологічного процесу

№ п/п	Параметр	Межі контролю і регулювання	Примітка
1	Температура, °С:		
	в реакторі М-1	40 – 140	Регулювання
	в реакторі М-2	40-140	Регулювання
	на виході холодильника Х-1	40 – 50	Контроль
	на виході теплообмінника Т-1	0 – 140	Контроль
2	Тиск, МПа:		
	Після насосу Н -1	0,3	Контроль
	Після насосу Н -2	0,3	Контроль
	Після насосу Н -2р	0,3	Контроль
	в реакторі М-1	0,1	Контроль
	в реакторі М-2	0,1	Контроль
3	Витрата, м ³ /год:		
	Бензин на вході	0-100	Регулювання
	Гас на вході	0-500	Регулювання
	Інгібітор нафтохім	0-2500	Контроль
4	Рівень, м		
	в реакторі М-1	0,5-2,5	Контроль
	в реакторі М-2	0,5-2,5	Контроль
	в місткості Е-1	0,5-3,8	Контроль

Висновок до розділу

У цьому розділі наведено опис технологічної установки для виробництва інгібітора корозії. Детально розглянуто послідовність і особливості реалізації технологічного процесу. Окрему увагу приділено визначенню рівнів контролю та регулювання ключових технологічних параметрів, що забезпечують стабільність роботи установки, відповідність продукції заданим характеристикам і дотримання вимог технічної безпеки.

				БР. АКПЗ-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		16

2 МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

2.1 Структурна схема об'єкта керування

Математичне моделювання установки процесу синтезу амінів є достатньо складним. Тому для дослідження обрано один з апаратів, який впливає на якість продукції та є основним, тобто реактор. Здійснивши аналіз особливостей реактора зроблено висновок, що схема об'єкта керування має вигляд (рис. 2.1).



T – температура реакційної суміші в реакторі; P – тиск у реакторі; F – продуктивність пари яка подається в реактор; Z – сумарні збурення; R – регулююча дія

Рисунок 2.1 – Структурна схема об'єкта керування

2.2 Експериментальне моделювання керованого об'єкта

Математична модель репрезентує наближене відображення певного класу явищ навколишньої дійсності шляхом використання математичної символіки. Математичне моделювання розглядається як ефективний засіб пізнання об'єктивної реальності, а також як інструмент прогнозування її поведінки та забезпечення цілеспрямованого управління процесами. Аналіз побудованих моделей сприяє глибшому усвідомленню закономірностей функціонування досліджуваних систем та явищ.

У сучасному науковому просторі інтенсивного розвитку зазнали методи ідентифікації об'єктів регулювання, що відкривають широкі можливості для

				БР. АКПЗ-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		17

побудови і дослідження їх математичних моделей. Залежно від підходу до встановлення параметрів об'єкта, методи ідентифікації поділяють на аналітичні та експериментальні. Для забезпечення високого рівня відповідності моделі реальному об'єкту, доцільним є застосування експериментальних підходів. Однак впровадження таких методів потребує значних часових і ресурсних витрат, оскільки передбачає проведення активного експерименту та подальшу обробку отриманих даних. У процесі експериментального моделювання, як правило, отримують графічне представлення перехідного процесу, що характеризує реакцію системи на зміну зовнішніх або внутрішніх умов.

Перехідні характеристики становлять фундаментальну складову будь-якого технологічного процесу, оскільки зміна станів системи є неминучою у динамічному середовищі. Аналіз таких характеристик є ключовим для забезпечення ефективності функціонування систем автоматичного керування, зокрема під час вибору типу та параметрів регулятора. Саме автоматичний регулятор відповідає за підтримання стійкості та стабільності системи в умовах змін зовнішніх збурень або внутрішніх коливань.

У межах даного дослідження оцінювання динамічних властивостей об'єкта здійснюється на основі аналізу кривих розгону, отриманих для основного каналу (рис. 2.2) та допоміжного каналу (рис. 2.3), що дозволяє встановити характер змін стану об'єкта в перехідних режимах.

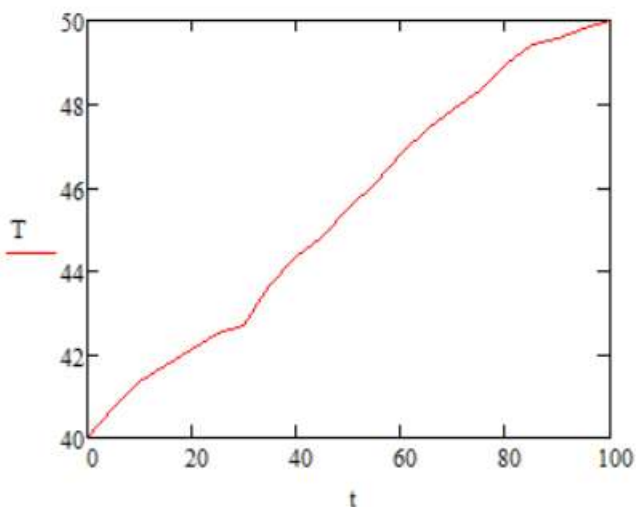


Рисунок 2.2 – Крива розгону по основному каналу

Одержану перехідну характеристику, отриману в результаті проведеного експерименту для основного каналу (таблиця 2.1) та допоміжного (таблиця 2.3), приведемо до безрозмірних величин.

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; x_0 - початкове значення; x_{max} - максимальне значення.

З графіка кривої розгону отримано, що $x_{max} = 50$ °С, а початкове значення складає $x_0 = 40$ °С.

Таблиця 2.1 – Результати експерименту по основному каналу

Температура, °С	Час, с	Температура, °С	Час, с
40	0	46,1	55
40,71	5	46,81	60
41,36	10	47,41	65
41,73	15	47,89	70
42,12	20	48,34	75
42,52	25	48,93	80
42,7	30	49,43	85
43,65	35	49,59	90
44,34	40	49,8	95
44,82	45	50	100
45,55	50		

Таблиця 2.2 – Безрозмірні одиниці по основному каналу

Температура, °C	Час, с	Безрозмірні одиниці, у
40	0	0
40,71	5	0,071
41,36	10	0,136
41,73	15	0,173
42,12	20	0,212
42,52	25	0,252
42,7	30	0,27
43,65	35	0,365
44,34	40	0,434
44,82	45	0,482
45,55	50	0,555
46,1	55	0,61
46,81	60	0,681
47,41	65	0,741
47,89	70	0,789
48,34	75	0,834
48,93	80	0,893
49,43	85	0,943
49,59	90	0,959
49,8	95	0,98
50	100	1

З допомогою програми Arrox, зробимо апроксимацію отриманої перехідної характеристики, з метою подальшого визначення передавальної функції об'єкта. У програмі заповнимо поля t і $y(t)$, і за рахунок зміни поліномів чисельника і знаменника проведемо апроксимацію із найменшою похибкою. Похибка не повинна бути більшою за 2,5%.

				БР. АКПЗ-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		20

В результаті дослідження отримуємо передавальну функцію третього порядку для основного каналу. Максимальна похибка 2.3 % в точці T=100с.

$$W(p) = \frac{144p^2 + 1,849p + 1}{5334,541p^3 + 753,141p^2 + 43,713p + 1} \quad (2.2)$$

Далі аналогічно здійснено аналіз динамічної характеристики по допоміжному каналі (тиск). На рисунку 2.3 показано експериментальну перехідну характеристику по допоміжному каналу.

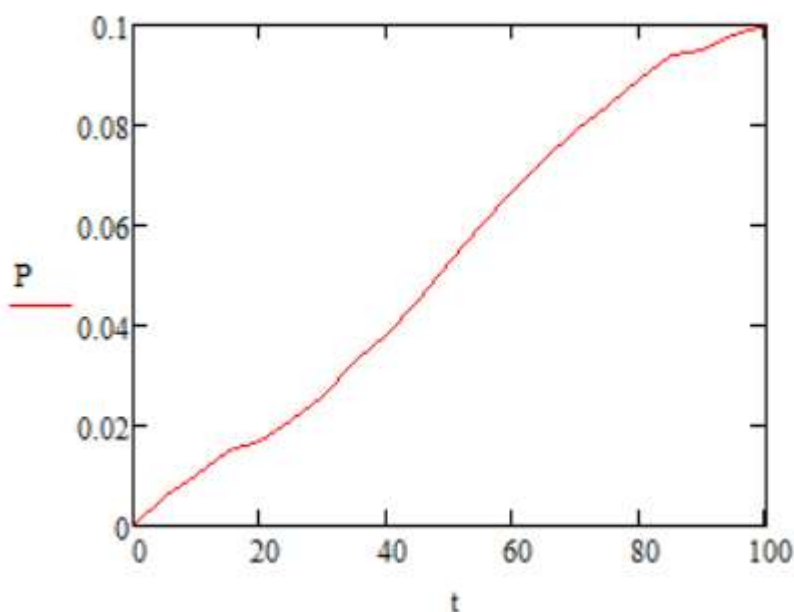


Рисунок 2.3 – Крива розгону допоміжного каналу

Таблиця 2.3 – Результати проведення експерименту по допоміжному каналу

Тиск, МПа	Час, с	Тиск, МПа	Час, с
0	0	0,06	55
0,006	5	0,067	60
0,01	10	0,073	65
0,015	15	0,079	70
0,017	20	0,084	75

Продовження табл.2.3

Тиск, МПа	Час, с	Тиск, МПа	Час, с
0,021	25	0,089	80
0,026	30	0,094	85
0,033	35	0,095	90
0,038	40	0,098	95
0,045	45	0,1	100
0,053	50		

Використавши формулу 2.1 переходимо в безрозмірні одиниці для наступного введення їх в ЕОМ і внесемо їх в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 - Безрозмірні одиниці по допоміжному каналу (тиск)

Тиск, МПа	Час, с	Безрозмірні одиниці, у
0	0	0
0,006	5	0,06
0,01	10	0,1
0,015	15	0,15
0,017	20	0,17
0,021	25	0,21
0,026	30	0,26
0,033	35	0,33
0,038	40	0,38
0,045	45	0,45
0,053	50	0,53
0,06	55	0,6
0,067	60	0,67
0,073	65	0,73

Тиск, МПа	Час, с	Безрозмірні одиниці, у
0,079	70	0,79
0,084	75	0,84
0,089	80	0,89
0,094	85	0,94
0,095	90	0,95
0,098	95	0,98
0,1	100	1

З допомогою програми Arrox, зробимо апроксимацію отриманої перехідної характеристики, з метою подальшого визначення передавальної функції об'єкта. У програмі заповнимо поля t і $y(t)$, і за рахунок зміни поліномів чисельника і знаменника проведемо апроксимацію із найменшою похибкою. Похибка не повинна бути більшою за 2,5%.

В результаті дослідження отримуємо передавальну функцію третього порядку для допоміжного каналу:

Максимальна похибка 2.2 % в точці $T=100$ с.

$$W(p) = \frac{128,505p^2 + 3,927p + 1}{5148,254p^3 + 737,654p^2 + 43,338p + 1} \quad (2.3)$$

Висновки до розділу

У даному розділі здійснено математичний опис об'єкта керування — реактора. На підставі результатів експериментальних досліджень побудовано передавальні функції для двох каналів: основного, що відображає зміну температури в реакторі, та допоміжного, який характеризує зміну тиску. Апроксимація експериментальних даних виконана з високим рівнем точності, при цьому отримане значення похибки не перевищує допустимих меж, що свідчить про адекватність побудованих моделей.

3 ПОБУДОВА ТА ПЕРЕВІРКА НА СТІЙКІСТЬ ОДНОКОНТУРНОЇ ТА КАСКАДНОЇ АСК

3.1 Вибір регулятора

У сучасних умовах автоматизація виробничих процесів є ключовим чинником підвищення ефективності промислових підприємств. Вона сприяє інтенсифікації технологічних операцій, зниженню витрат сировини, енергії та матеріалів, підвищенню якості продукції, а також поліпшенню організації виробництва загалом. Для реалізації функцій керування необхідне впровадження технічних засобів, здатних забезпечити збір інформації про об'єкт регулювання та його вихідні параметри, здійснювати аналіз вхідних даних, формувати сигнали коригування та реалізовувати керуючі дії з відповідним підсиленням.

Технічні засоби, які забезпечують реалізацію функцій керування, становлять сукупність, що формує керуючий пристрій. У процесі дослідження системи керування об'єктом необхідно розглядати як роботу самого об'єкта, так і керуючого пристрою, оскільки ці компоненти взаємозалежні та функціонують як єдине ціле. Об'єкт керування разом із керувальним пристроєм утворюють систему керування. У випадку, коли всі функції такої системи виконуються без безпосередньої участі людини, вона класифікується як автоматична. Якщо автоматична система реалізує лише базову задачу підтримання заданого значення вихідної величини, то її керуючий пристрій визначається як автоматичний регулятор, а вся система — як система автоматичного регулювання.

Розвиток технічних засобів сприяв створенню складних автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСУ ТП), які забезпечують не лише підтримання параметрів у межах заданих значень, а й оптимізацію за техніко-економічними критеріями, зокрема за якістю продукції, її собівартістю, продуктивністю обладнання тощо.

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		24

Ідеальними вважаються регулятори, що реалізують теоретично точне виконання заданого закону регулювання. У таких пристроях операції інтегрування, диференціювання, підсумовування та множення на сталий коефіцієнт виконуються без похибок. Серед найбільш поширених типів регуляторів виділяють П-, ПІ- та ПІД-регулятори.

Пропорційні регулятори (П-регулятори) зазвичай мають структуру, яка включає підсилювальну та інтегрувальну ланки в контурі з жорстким від'ємним зворотним зв'язком. Інтегрувальна ланка часто реалізується за допомогою виконавчого механізму, що перетворює електричний сигнал у механічне переміщення.

ПІ-регулятори, як правило, мають структуру послідовного з'єднання підсилювальної та інтегрувальної ланок, де перша охоплена зворотним зв'язком через аперіодичну ланку. Така структура є типовою для регуляторів, що входять до складу електронних агрегатних уніфікованих систем.

ПІД-регулятори можуть бути реалізовані за різними структурними схемами, зокрема із застосуванням уніфікованих функціональних блоків. Пропорційно-інтегральна складова формується окремим блоком, а блок диференціювання може бути реалізований як окрема конструктивна одиниця, що забезпечує гнучкість у конфігурації регулятора.

Вибір типу регулятора та відповідного закону регулювання визначається вимогами до якості регулювання, що формуються технологічним процесом. Під якістю автоматичного регулювання розуміють здатність системи швидко, точно та стійко реагувати на збурення або зміну завдання.

Залежно від характеру перехідного процесу, розрізняють кілька його типових форм. До них належать процес із мінімальною інтегральною квадратичною площею відхилення, процес із перерегулюванням 20% та мінімальним часом півперіоду, а також аперіодичний процес із мінімальним часом встановлення. Вибір бажаного типу перехідного процесу є важливою складовою під час синтезу системи автоматичного регулювання.

				БР. АКПЗ-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		25

3.2 Розрахунок оптимальних параметрів налаштування регулятора для одноконтурної АСК

Параметри налаштування оптимального регулятора можна отримати із використанням програми “MATLAB”

Створюю одноконтурну систему в середовищі “MATLAB”:

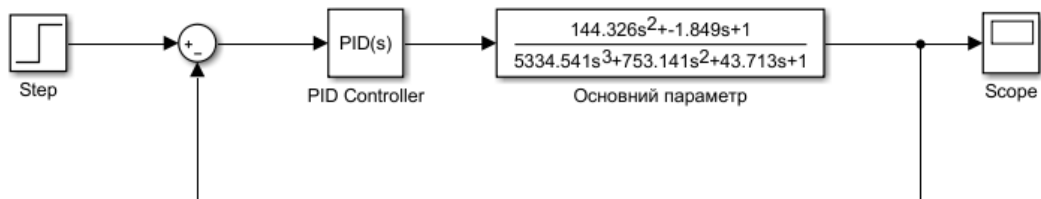


Рисунок 3.1 – Схема моделі системи в середовищі “MATLAB”

Приведемо графіки перехідних процесів для різних регуляторів.

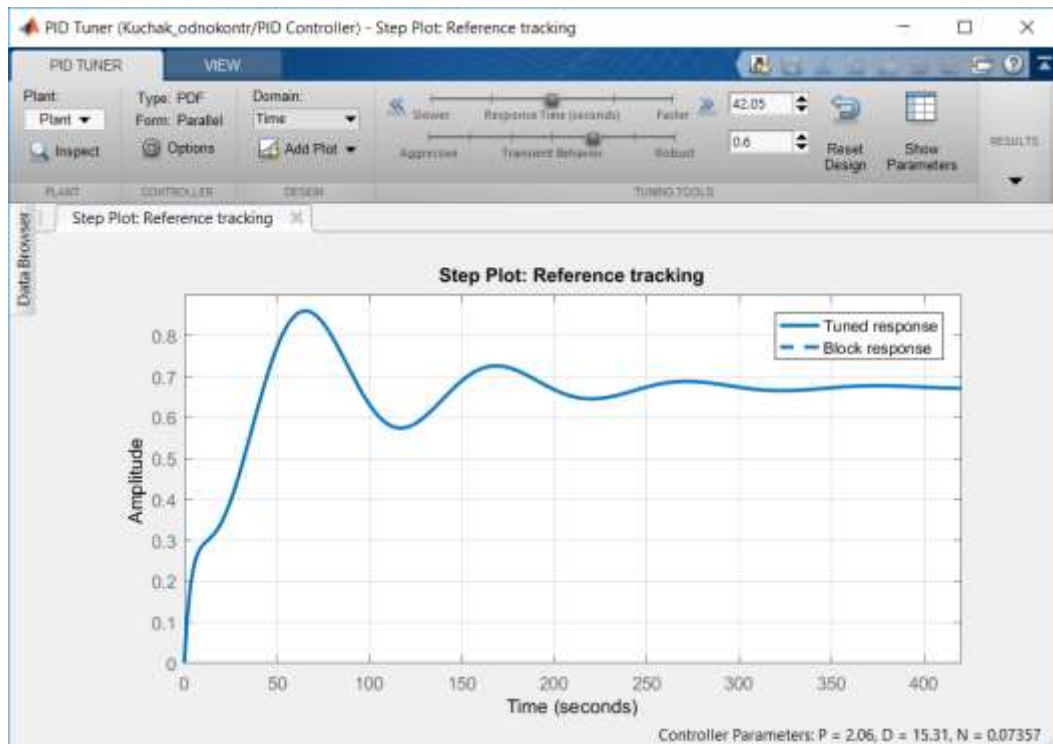


Рисунок 3.2 – Вихід системи з ПД регулятором

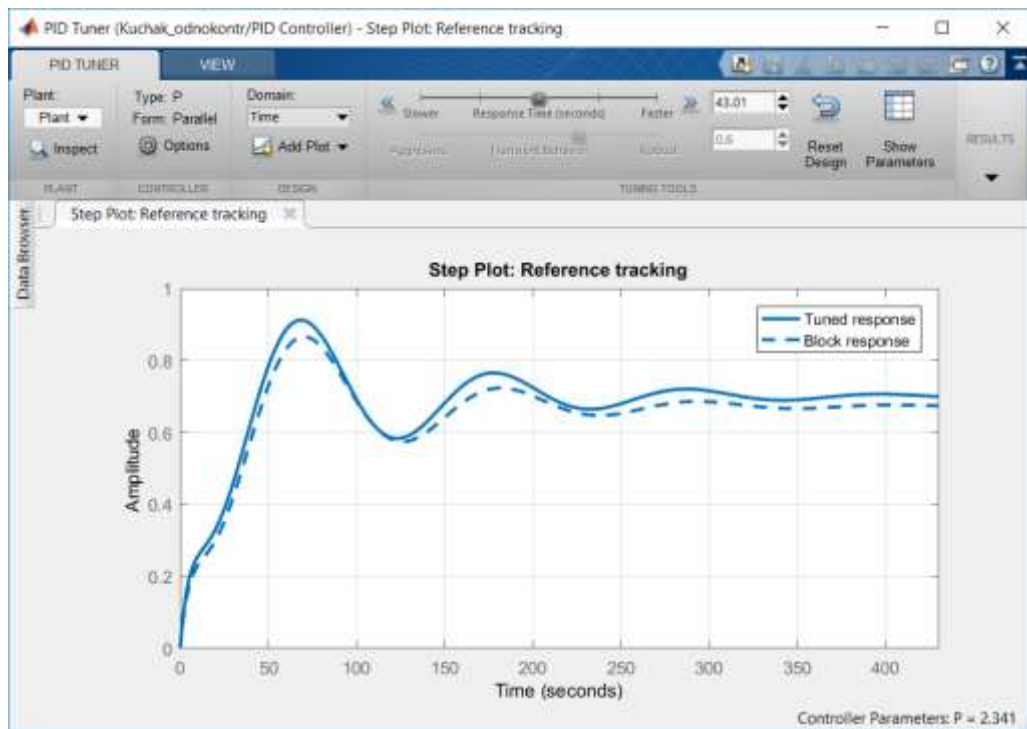


Рисунок 3.3 – Вихід системи з ПД регулятором

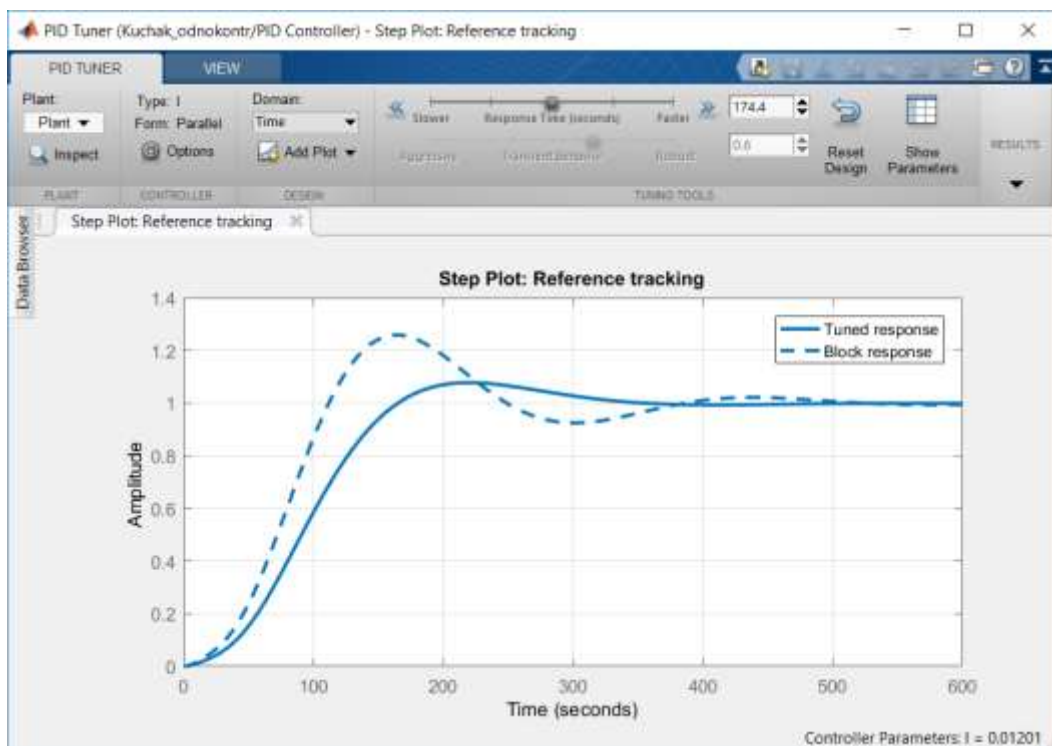


Рисунок 3.4 – Вихід системи з І регулятором

Час перехідного процесу 400 с;

Час досягнення першого максимуму 209 с;

Час розгону 167 с;

$$\Delta = \frac{1,08-1}{1} * 100\% = 8\% - \text{перерегулювання.}$$

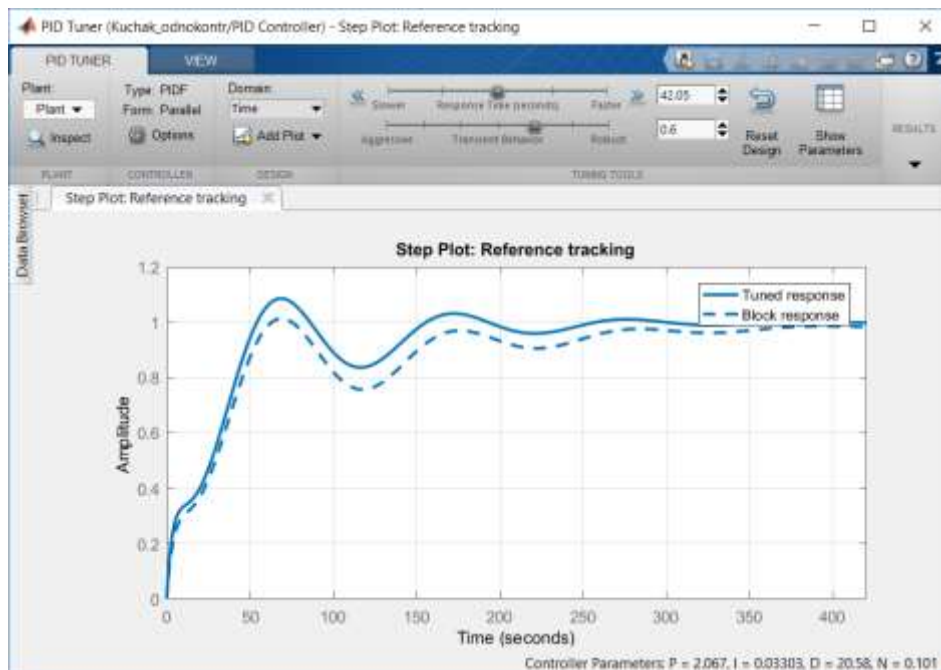


Рисунок 3.5 – Вихід системи з ПІД регулятором

Час перехідного процесу 350с;

Час досягнення першого максимуму 69 с;

Час розгону 54 с;

$$\Delta = \frac{1,09-1}{1} * 100\% = 9\% - \text{перерегулювання.}$$

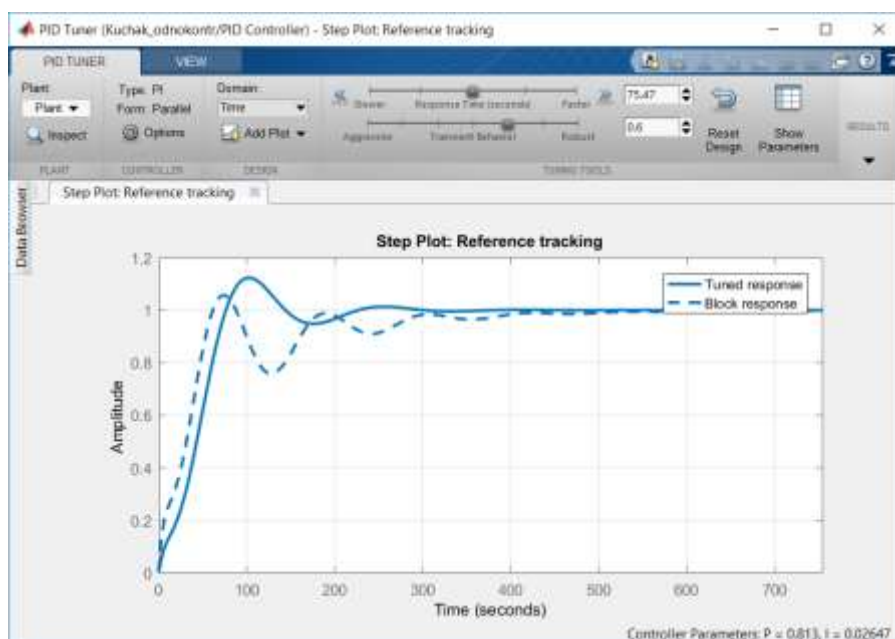


Рисунок 3.6 – Вихід системи з ПІ регулятором

Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата
------	----------	--------	------

Час перехідного процесу 300с;

Час досягнення першого максимуму 100 с;

Час розгону 77 с;

$$\Delta = \frac{1,12-1}{1} * 100\% = 12\% - \text{перерегулювання.}$$

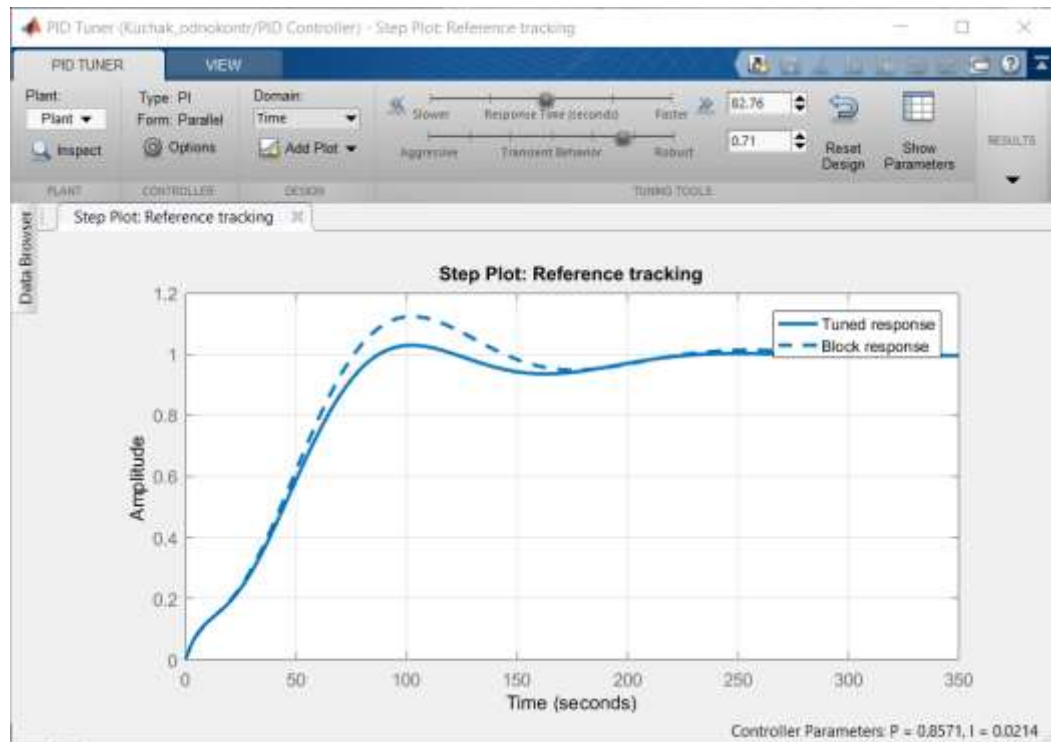


Рисунок 3.7 – Вихід системи з ПІ регулятором

Час перехідного процесу 250с;

Час досягнення першого максимуму 97 с;

Час розгону 87 с;

$$\Delta = \frac{1,03-1}{1} * 100\% = 3\% - \text{перерегулювання.}$$

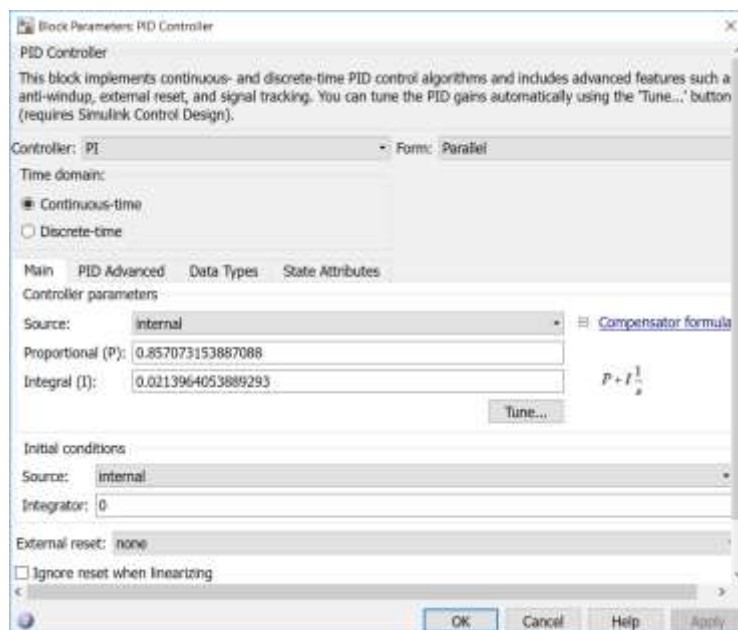


Рисунок 3.8 – Параметри ПІ-регулятора

Оптимальним є ПІ-регулятор так як він має найменші коливання, тобто більш стабільний та швидкий, а за допомогою тонкого налаштування я зміг добитись трохи кращих результатів.

Вигляд ПІ-регулятора:

$$W_p(p) = 0.85707 + \frac{0.02139}{p} \quad (3.1)$$

3.3 Перевірка на стійкість одноконтурної АСК

Стійкість систем автоматичного регулювання (САР) визначається як здатність системи запобігати необмеженому відхиленню регульованої величини від заданого значення під впливом будь-якого реального збурення. Забезпечення стійкості є однією з ключових вимог до замкнених систем автоматичного керування, оскільки саме вона гарантує передбачувану і контрольовану поведінку системи в умовах динамічних змін.

У стійкій САР перехідний процес, що виникає внаслідок зовнішніх або внутрішніх збурень, не призводить до безмежного відхилення регульованої величини — вона прагне до встановлення в околі заданого рівня. Така поведінка свідчить про фізичну реалізованість та надійність функціонування системи.

Для оцінювання стійкості замкненої системи застосовуються різноманітні критерії, які можуть мати як аналітичну, так і графічну природу. Основу аналітичних методів становить аналіз коренів характеристичного рівняння системи. Зокрема, використовуються класичні критерії стійкості, такі як критерій Гурвіца, Михайлова, Найквіста–Михайлова та інші. Усі ці підходи формулюють необхідні та достатні умови, за яких система зберігає стійкість. Виконання зазначених умов забезпечує обмеженість реакції системи на збурення та її здатність до самовідновлення стану рівноваги.

Для здійснення перевірки на стійкість обчислимо еквівалентну передавальну функцію одноконтурної АСР:

$$W_{\text{РОЗ}}(p) = \frac{W_p(p) \cdot W_o(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_o(p)} = \frac{1.2369748482e10 \cdot p^3 + 1.50241071e8 \cdot p^2 + 8.1751989e7 \cdot p + 2.139e6}{5.334541e11 \cdot p^4 + 8.7683848482e10 \cdot p^3 + 4.521541071e9 \cdot p^2 + 1.81751989e8 \cdot p + 2.139e6} \quad (3.2)$$

Використаємо критерій Михайлова.

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$5.334541e11 p^4 + 8.7683848482e10 p^3 + 4.521541071e9 p^2 + 1.81751989e8 p + 2.139 = 0$$

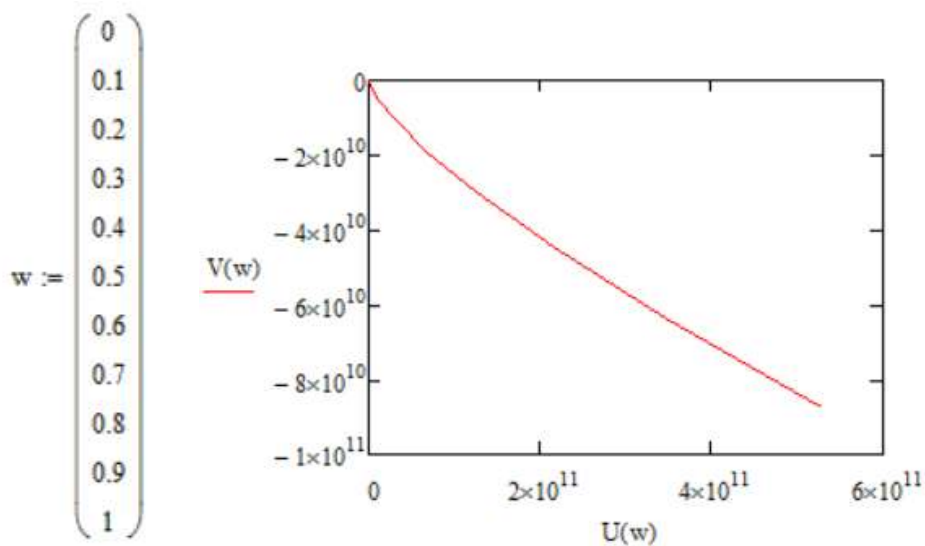
Зробимо заміну замість $p \rightarrow j\omega$ і запишемо вираз для годографа Михайлова.

Розділимо на дійсну і уявну частини

$$U(\omega) := 5.334541e11 \cdot \omega^4 - 4.521541071e9 \cdot \omega^2 + 2.139e6$$

$$V(\omega) := 1.81751989e8 \cdot \omega - 8.7683848482e10 \cdot \omega^3$$

Змінюючи частоту ω від 0 до ∞ , будуємо годограф Михайлова



Отже, згідно з формулюванням критерію Михайлова, досліджувана система є стійкою, оскільки відповідний годограф починається на додатній дійсній осі та описує траєкторію в напрямку проти годинникової стрілки, перетинаючи всі чотири квадранти комплексної площини. Така форма годографа відповідає вимогам критерію щодо розташування коренів характеристичного рівняння у лівій півплощині, що є необхідною умовою стійкості.

Для застосування критерію Гурвіца, що також використовується для оцінювання стійкості замкнених систем, необхідно сформулювати характеристичне рівняння. Воно отримується шляхом прирівнювання до нуля знаменника передавальної функції розімкненого контуру. Аналіз коефіцієнтів цього рівняння із застосуванням визначника Гурвіца дозволяє встановити, чи всі корені мають від'ємну дійсну частину. Якщо визначники всіх головних мінорів матриці Гурвіца додатні, система вважається стійкою.

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$5.334541e11p^4 + 8.76838482e10p^3 + 4.521541071e9p^2 + 1.81751989e8p + 2.139 = 0$$

Запишемо головний визначник Гурвіца для 4-го порядку:

$$\Delta := \begin{pmatrix} 8.7683848482e10 & 5.334541e11 & 0 & 0 \\ 1.81751989e8 & 4.521541071e9 & 8.7683848482e10 & 5.334541e11 \\ 0 & 2.139e6 & 1.81751989e8 & 4.521541071e9 \\ 0 & 0 & 0 & 2.139e6 \end{pmatrix}$$

Формули для розрахунку:

$$\Delta_1 = a_3 > 0$$

$$\Delta_2 = a_3 \cdot a_2 - a_4 \cdot a_1 > 0$$

$$\Delta_3 = a_3 \cdot a_2 \cdot a_1 - a_0 \cdot a_3^2 - a_1^2 \cdot a_4 > 0$$

$$\Delta_4 = a_0 \cdot \Delta_3 > 0$$

Підставляємо значення:

$$\Delta_1 := 8.7683848482e10$$

$$\Delta_2 := 8.7683848482e10 \cdot 4.521541071e9 - 5.334541e11 \cdot 1.81751989e8$$

$$\Delta_3 := 8.7683848482e10 \cdot 4.521541071e9 \cdot 1.81751989e8 - 2.139e6 \cdot (8.7683848482e10)^2 - (1.81751989e8)^2 \cdot 5.334541e11$$

$$\Delta_4 := 2.139e6 \cdot \Delta_3$$

Розраховані значення:

$$\Delta_1 = 8.768 \times 10^{10}$$

$$\Delta_2 = 2.995 \times 10^{20}$$

$$\Delta_3 = 3.799 \times 10^{28}$$

$$\Delta_4 = 8.126 \times 10^{34}$$

Систему вважається стійкою, так як усі визначники додатні.

3.4 Розрахунок оптимальних параметрів налаштування регулятора для каскадної АСК

Параметри налаштування оптимального регулятора можна отримати із використанням програми "MATLAB"

Створюємо каскадну систему в середовищі "MATLAB":

				БР. АКПЗ-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		33

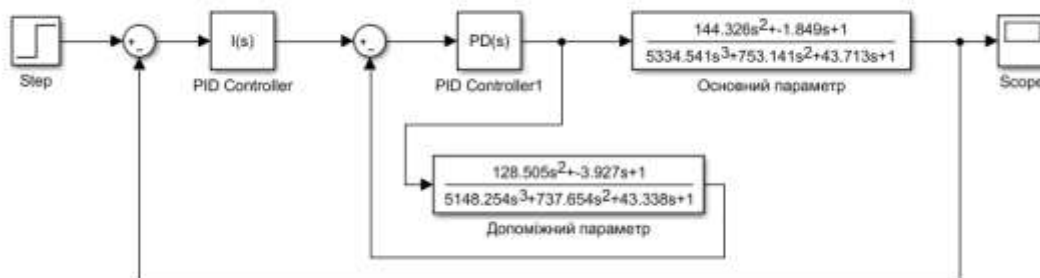


Рисунок 3.9– Схема моделі системи в середовищі “MATLAB”

Здійснюємо підбір оптимального регулятора.

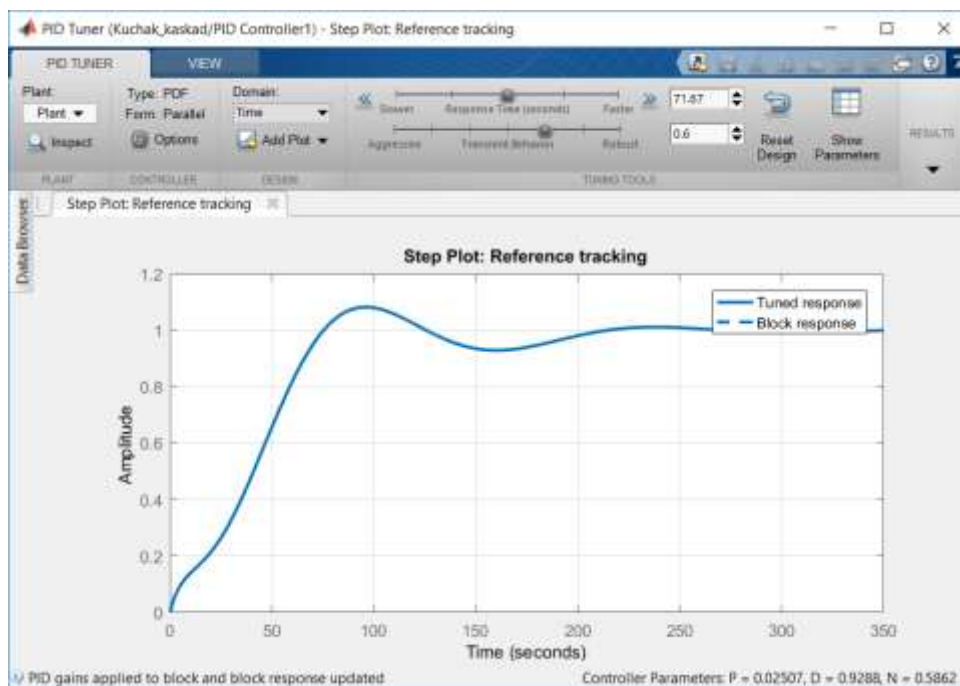


Рисунок 3.10 – ПД-регулятор(Допоміжний канал)

Час перехідного процесу 350 с;

Час досягнення першого максимуму 90 с;

Час розгону 75 с;

$$\Delta = \frac{1,08-1}{1} * 100\% = 8\% - \text{перерегулювання.}$$

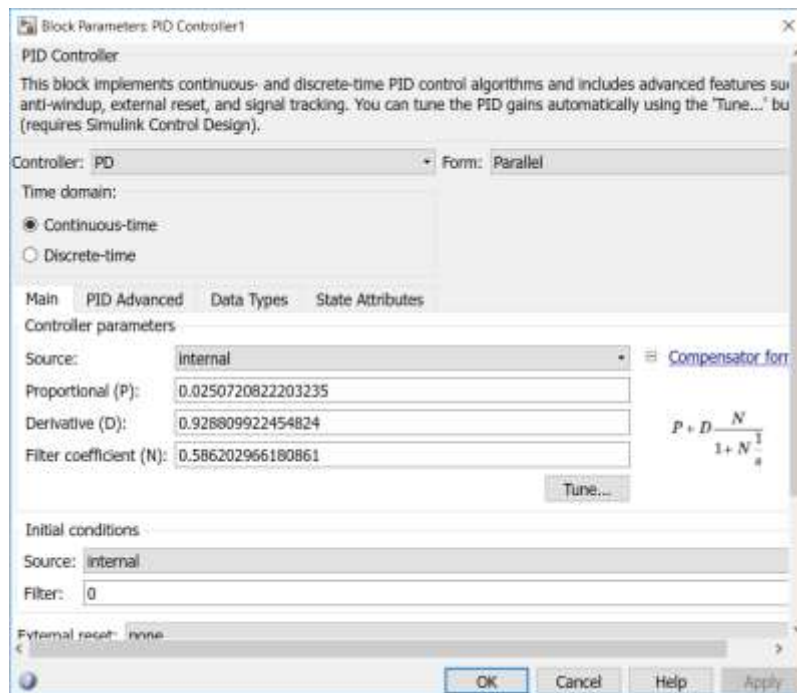


Рисунок 3.11– Параметри ПД-регулятора(Допоміжний канал)

Передавальна функція допоміжного регулятора:

$$W_{др}(p) = P + \frac{D * N}{1 + \frac{N}{p}} = 0.0250 + \frac{0.9288 * 0.5862}{1 + \frac{0.5862}{p}}$$

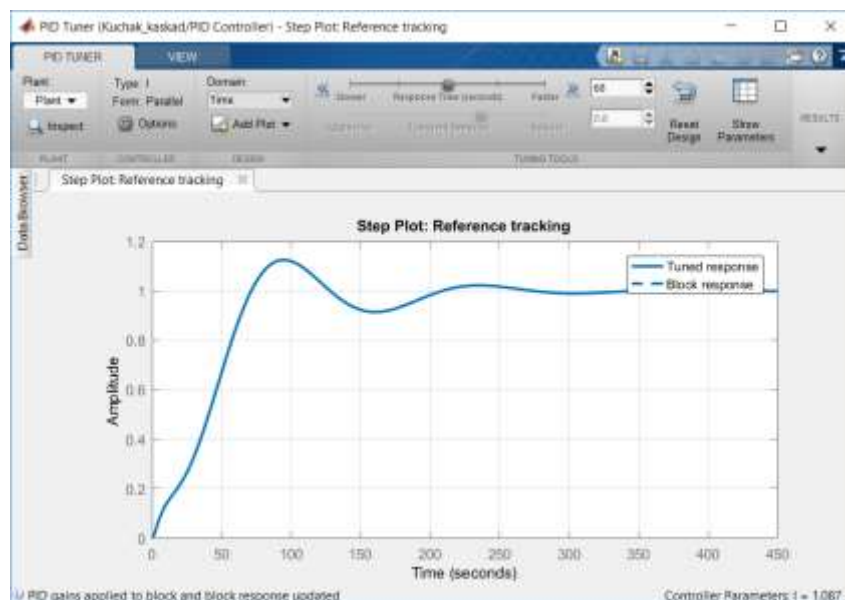


Рисунок 3.12– І-регулятор(Основний канал)

Час перехідного процесу 400 с;

Час досягнення першого максимуму 95 с;

Час розгону 72 с;

$$\Delta = \frac{1,13-1}{1} * 100\% = 13\% - \text{перерегулювання.}$$

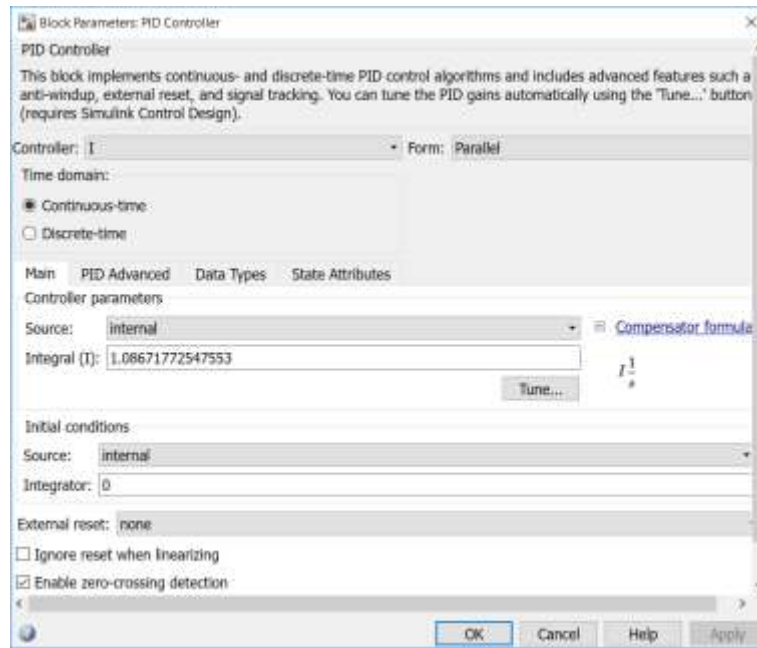


Рисунок 3.13– Параметри І-регулятора(Основний канал)

Передавальна функція основного регулятора:

$$W_{op}(p) = I \frac{1}{p} = \frac{1.0867}{p}$$

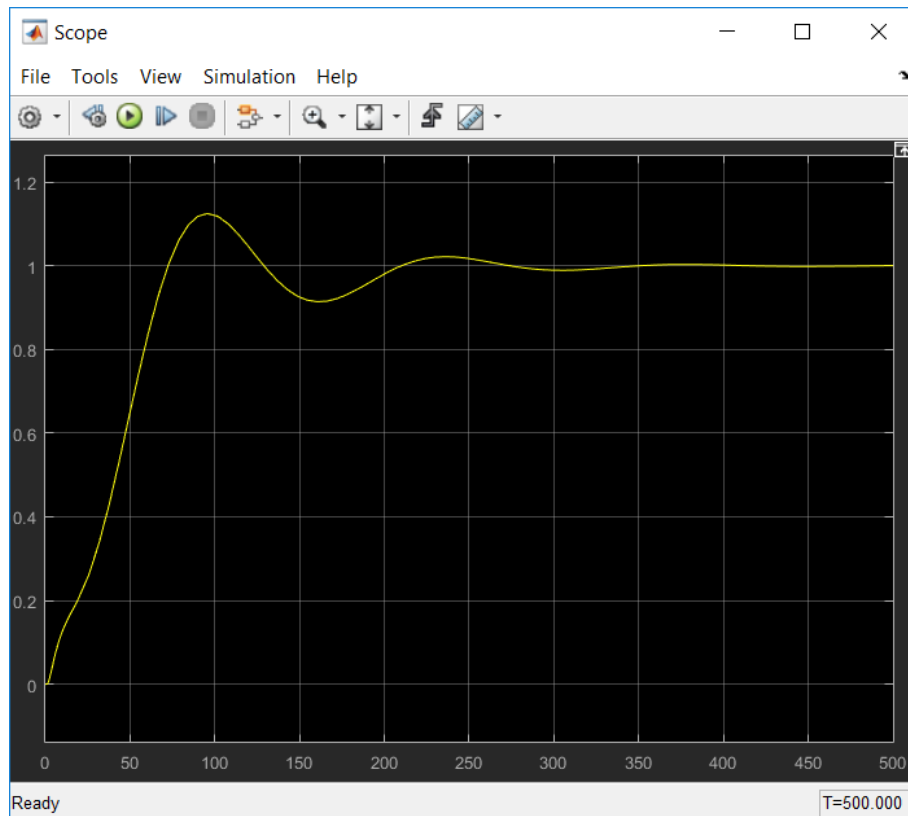


Рисунок 3.14– Графік каскадної системи

3.5 Перевірка на стійкість каскадної АСК

Для аналізування на стійкість системи знайдемо еквівалентну передавальну функцію для каскадної АСК:

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

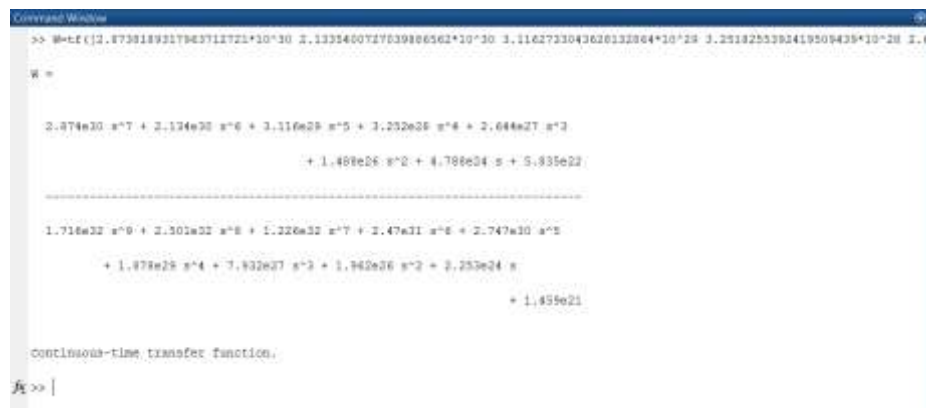
Передавальна функція каскадної системи 9-го порядку (графічна частина, лист 6).

Критерій Найквіста є одним із фундаментальних графічних методів оцінювання стійкості замкнених систем автоматичного керування. Його суть полягає в аналізі амплітудно-фазової характеристики (АФЧХ) розімкнутого контуру на комплексній площині.

Згідно з формулюванням критерію, система вважається стійкою тоді, коли контур Найквіста, побудований за АФЧХ розімкнутої системи при зміні частоти ω від нуля до нескінченності, не охоплює критичну точку $(-1;j0)$.

Інакше кажучи, якщо при зміні частоти жодна частина годографа не огинає зазначену точку, це свідчить про те, що замкнена система не має нестійких полюсів, тобто всі її полюси знаходяться у лівій півплощині комплексної площини. Критерій Найквіста особливо ефективний для аналізу систем із запізненнями або зі складною динамікою, де класичні аналітичні методи ускладнюються або стають непридатними.

Вводимо функцію системи в Matlab:



```
>> W=tf([2.47381892179e27 1.1721e+30 2.1331460727033986562e+30 3.1162733043626132864e+30 2.2918255392419509435e+30 2.6  
W =  
  
2.474e30 s^7 + 2.134e30 s^6 + 3.116e29 s^5 + 3.252e28 s^4 + 2.644e27 s^3  
+ 1.488e26 s^2 + 4.788e24 s + 5.835e22  
-----  
1.716e22 s^9 + 2.301e22 s^8 + 1.226e22 s^7 + 2.47e21 s^6 + 2.747e20 s^5  
+ 1.878e28 s^4 + 7.932e27 s^3 + 1.942e26 s^2 + 2.253e24 s  
+ 1.435e21  
  
continuous-time transfer function.  
R>> |
```

Отримуємо графік замкнутої системи:

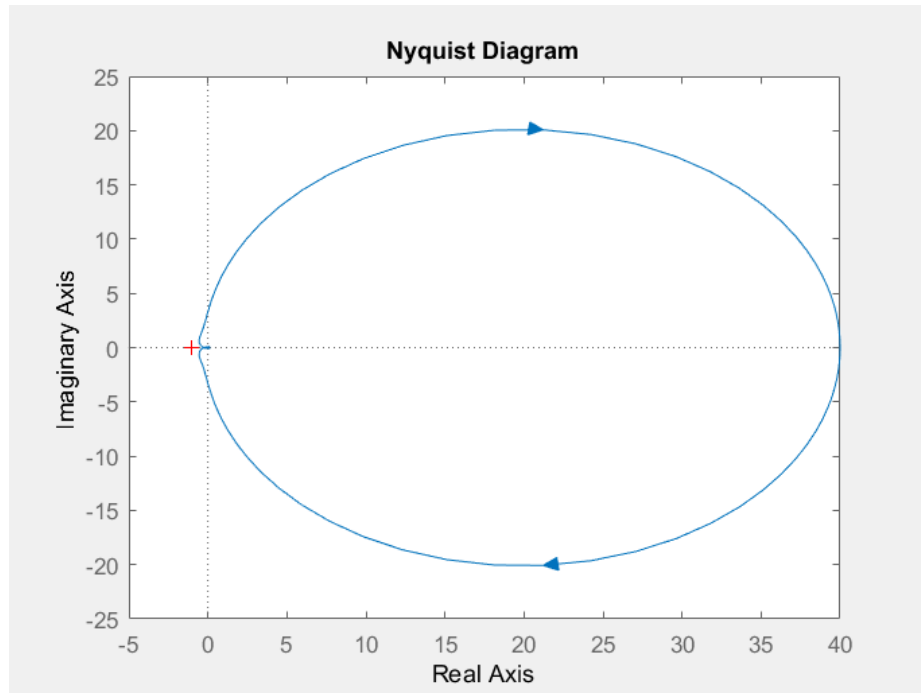


Рисунок 3.15– Графік замкнутої системи

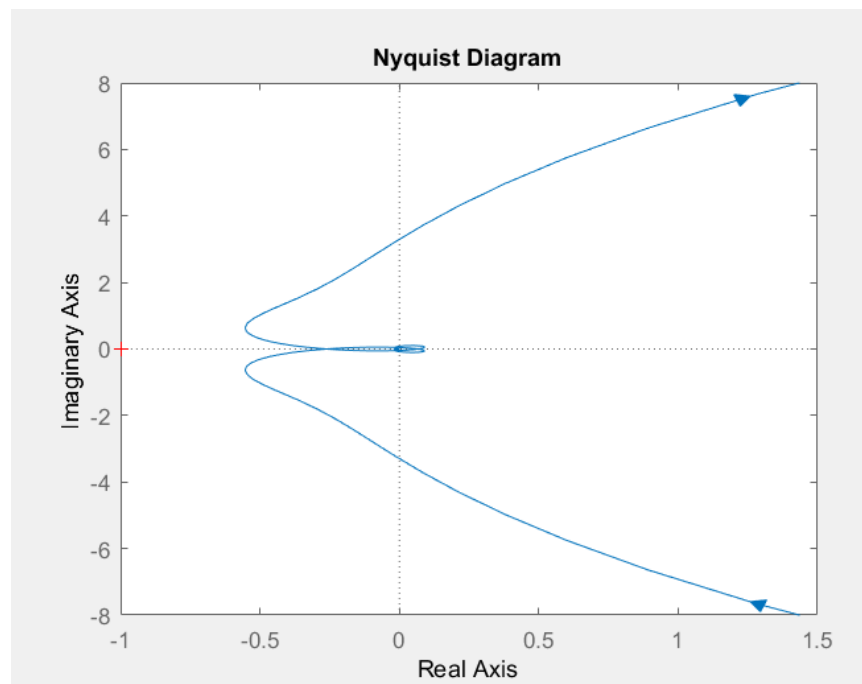


Рисунок 3.16– Збільшення в точці(-1;0)

Тому робимо висновок, що досліджувана система є стійкою оскільки не охоплює точку з координатами $(-1; j0)$.

Висновки до розділу

У даному розділі бакалаврської роботи здійснено вибір типу регулятора для одноконтурної автоматизованої системи керування (АСК) та визначено оптимальні значення його параметрів налаштування. Окрім того, змодельовано каскадну структуру АСК, для якої підібрано параметри основного та допоміжного регуляторів, а також визначено їхні передавальні функції.

Для оцінки динамічної поведінки систем проведено дослідження стійкості одноконтурної АСК із застосуванням критерію Гурвіца та критерію Михайлова. Стійкість каскадної АСК оцінювалася на основі аналізу її еквівалентної передавальної функції за допомогою критерію Найквіста. Усі розглянуті системи в процесі моделювання виявилися стійкими, що підтверджує правильність вибору структури регулювання та параметрів налаштування регуляторів.

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		39

4 РОЗРОБКА ФСА ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АТОМАТИЗАЦІЇ

4.1 Опис функціональної схеми автоматизації

Функціональна схема установки для виробництва інгібітора корозії забезпечує реалізацію комплексу завдань автоматизованого контролю, регулювання, реєстрації та сигналізації ключових параметрів технологічного процесу.

Здійснюється дистанційний контроль температурного режиму в реакторах М-1 та М-2. Для цього використовуються термоперетворювачі опору WKA TR10-C – 14413401, встановлені безпосередньо на реакторах. Сигнали від датчиків передаються в операторну до перетворювачів сигналів АТТ1 (Ascon Technologic), які формують уніфікований електричний сигнал у діапазоні 4–20 мА. Цей сигнал надходить на цифрові індикатори ІТМ-16, задіяні в схемі світлової сигналізації, а також на вторинні показувальні та регулюючі прилади МТР-8. Вихідний сигнал з останніх подається на виконавчі електромеханізми, що керують подачею пари до відповідних реакторів.

Витрати бензину та газу контролюються та регулюються дистанційно за допомогою інтелектуальних вихрових витратомірів Emerson Rosemount 8800D. Уніфіковані сигнали 4–20 мА проходять через бар'єри іскробезпеки БІЗ-21, звідки надходять на пристрої МТР-80. Керуючі сигнали з регуляторів також передаються через бар'єри на електропневматичні перетворювачі МТМ 810, які формують аналоговий пневматичний сигнал 20–100 кПа. Цей тиск подається на пневматичні клапани 5065 05 DN20 PN16, встановлені на лініях подачі компонентів у змішувач З-1.

Контроль рівня рідини в реакторах М-1 і М-2 здійснюється як локально, так і дистанційно за допомогою датчиків гідростатичного тиску. Сигнали 4–20 мА подаються на локальні індикатори, цифрові сигналізатори ІТМ-16 та на реєстратор Yokogawa DX1000. Сигналізатори забезпечують візуальну

				БР. АКПЗ-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		40

сигналізацію аварійних рівнів. Аналогічна система застосовується для місткості Е-1, де встановлено буйковий рівнемір 244LD LevelStar, сигнал з якого також надходить на цифрові індикатори та реєстратори.

Температурний режим на виходах теплообмінника Т-1 і холодильника Х-1 контролюється за допомогою датчиків WİKA TR10-С. Сигнали від них передаються через перетворювачі АТТ1 до реєстраторів Yokogawa DX1000, розташованих на щиті КВП.

Локальний контроль тиску на виходах насосів Н-1, Н-2 та Н-2р здійснюється за допомогою манометрів WİKA 213.53, а також електроконтактного манометра ВЕ-16Рб, що виконує функцію елемента системи керування насосами.

Тиск у реакторах М-1 і М-2 контролюється локально та дистанційно за допомогою перетворювачів тиску МТМ 701.6. Уніфіковані сигнали 4–20 мА з цих пристроїв передаються на локальні індикатори, живлення яких здійснюється від струмової петлі ІТП-11, а також на цифрові індикатори Yokogawa DX1000 у операторній.

4.2 Вибір технічних засобів автоматизації

На сучасному етапі розвитку промислового виробництва особливої актуальності набуває впровадження комплексної автоматизації, яка охоплює як основні, так і допоміжні технологічні процеси та забезпечує централізоване управління з операторного пункту. Така автоматизована система дозволяє істотно зменшити кількість обслуговуючого персоналу, обмежуючи їхню участь у виробництві лише до запуску та зупинки процесів, періодичного зчитування показників приладів і переведення установки в безпечний режим у разі аварійної ситуації.

Реалізація комплексної автоматизації потребує використання широкого спектра засобів вимірювання, перетворення та регулювання параметрів технологічного процесу. Високі вимоги до точності вимірювання, швидкодії

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		41

передавання інформації, гнучкості побудови систем керування, а також до їхньої інтеграції з обчислювальними засобами зумовлюють перехід на уніфіковані аналогові та цифрові електричні сигнали. Це дає змогу використовувати стандартизовані вторинні вимірювальні та регулювальні пристрої, що сприяє підвищенню ефективності системи автоматизації.

Вибір засобів вимірювальної техніки базується на їх функціональному призначенні, метрологічних характеристиках та умовах експлуатації. Основними метрологічними параметрами є діапазон вимірювання та клас точності. Після визначення функціонального призначення приладу, кількості контрольованих точок, способу передавання сигналів і особливостей експлуатації, встановлюють відповідні метрологічні характеристики.

Діапазон вимірювання визначається на основі передбачуваних значень контрольованої величини. Для манометрів, призначених для вимірювання змінного пульсуючого тиску, вимірюване значення повинно перебувати у другій третині шкали. У випадку постійного тиску — у третій або четвертій її частині. Для витратомірів змінного перепаду тиску значення параметра має знаходитися не менше ніж на 30 % шкали, переважно в її другій половині. Для інших типів вимірювальних засобів робочий діапазон повинен охоплювати діапазон між мінімальним та максимальним значенням вимірюваної величини з урахуванням допустимої похибки. Остаточний вибір меж здійснюється згідно з нормованим рядом значень, прийнятим у відповідному галузевому стандарті.

Наступним етапом є визначення класу точності — характеристика, що відображає граничну допустиму похибку вимірювання у відсотках від верхньої межі діапазону. Клас точності є безрозмірною величиною і вибирається залежно від допустимої похибки конкретного технологічного параметра. У нафтопереробній промисловості, як правило, застосовують прилади з класом точності 1,0 або нижчим. Орієнтуючись на значення приведеної похибки, яка визначається на основі вимог до точності, обирають найближче менше значення класу точності із встановленого ряду.

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		42

Таким чином, правильний вибір технічних засобів автоматизації забезпечує не лише відповідність технічним вимогам виробництва, але й гарантує стабільність і надійність функціонування автоматизованих систем управління.

МТР-8К7 — це багатофункціональний мікропроцесорний терморегулятор, що поєднує в собі функції багатоканального вимірювача, регулятора, сигналізатора та пристрою аварійного вимкнення. Він підтримує до восьми незалежних каналів, кожен з яких може бути налаштований на виконання однієї з функцій: вимірювання, ПД-регулювання (в тому числі аналогове, імпульсне, ШІМ), сигналізація виходу параметра за межі або аварійне відключення.



Рисунок 4.1 - Мікропроцесорний терморегулятор МТР-8К7

Терморегулятор широко застосовується у промислових системах автоматизації, в складі локальних або територіально розподілених систем керування, у пристроях для диспетчерського контролю, збору даних, візуалізації та цифрової індикації параметрів.

Підтримується робота з уніфікованими сигналами струму та напруги, термопарами різних типів (J, L, E, K, S, B, A-1), а також з термоперетворювачами опору (ТСМ, ТСП, Pt500, Pt1000), що дозволяє охопити широкий температурний діапазон — від -100°C до $+2500^{\circ}\text{C}$.

Прилад виконує вимірювання, контроль і автоматичне регулювання технологічних параметрів, таких як температура, тиск, витрата та рівень. Він

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		43

забезпечує керування процесами нагрівання або охолодження в різноманітному технологічному обладнанні. Можливе керування виконавчими механізмами за різними алгоритмами (ПІД-ШИМ, імпульсне, двопозиційне).

Підтримується масштабування шкал у технологічних одиницях, цифрове фільтрування сигналів, обчислення квадратного кореня для вимірювання витрати, лінеаризація за 20 точками, а також функції моніторингу справності датчиків і ліній зв'язку. Реалізовано безпечні режими керування у випадку відмов.

Кожен канал конфігурується індивідуально, можливе як пряме, так і зворотне регулювання. Вихідні пристрої програмуються гнучко, підтримується цифрове калібрування, сигналізація перевищення уставок, автоматичне чи ручне перемикання індикації каналів. Параметри зберігаються навіть після вимкнення живлення.

Забезпечена тривінева гальванічна розв'язка (вхід, вихід, живлення) з ізоляцією до 1000 В. Прилад має інтерфейс RS-485 із підтримкою протоколу ModBus, до 255 пристроїв у мережі. Для зручності обслуговування використовуються клемно-блокові з'єднувачі.

Конфігурування здійснюється через кнопки на панелі або програмно через RS-485 з використанням пакету «МІК-Конфігуратор». Для збору й архівування даних використовується «МІК-Реєстратор», а інтеграція з клієнтськими застосунками можлива завдяки OPC-серверу ModBus. Сумісність зі SCADA-системами, зокрема Visual Intellect, дає змогу реалізувати багатотермінальний моніторинг, аварійний захист, резервування та дистанційне управління об'єктом.

МТР-8К7 — це універсальний і надійний прилад для комплексного вирішення завдань автоматичного регулювання, контролю й сигналізації в складних промислових умовах.

				БР. АКПЗ-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		44

Індикатор струмової петлі ІТП11

Прилад ІТП11 використовується для вимірювання та відображення фізичних параметрів, які передаються у вигляді уніфікованого сигналу постійного струму в діапазоні від 4 до 20 мА. Його можна інтегрувати в автоматизовані системи контролю та управління технологічними процесами як основний або додатковий індикатор вимірюваних значень.



Рисунок 4.2 - Індикатор струмової петлі ІТП11

ІТП11 є оптимальним рішенням для реалізації систем візуалізації з великою кількістю контрольованих параметрів. Пристрій виконаний у формі стандартної сигнальної лампи, що забезпечує зручність монтажу та інтеграції в існуючі системи.

Цей індикатор підтримує вимірювання сигналів струму в діапазоні від 4 до 20 мА, які надходять від різноманітних датчиків. Передбачена можливість масштабування вхідного сигналу для відображення його у зручних технологічних одиницях. Також прилад може виконувати математичну обробку сигналу, зокрема обчислювати квадратний корінь, що дозволяє використовувати його для задач вимірювання витрати за диференціальним тиском.

У випадку виходу сигналу за межі допустимого діапазону відображається аварійне повідомлення. Прилад оснащений цифровим фільтром, який знижує

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		45

вплив перешкод і забезпечує стабільність показань. Функція блокування налаштувань захищає параметри приладу від випадкових або несанкціонованих змін. Живлення ІТП11 здійснюється безпосередньо від струмового кола за двопровідною схемою, що спрощує підключення та експлуатацію.

Індикатори ІТМ-16 — це сучасні універсальні багатоканальні цифрові пристрої з високою точністю вимірювання та наявністю дискретних виходів. Особливістю моделі ІТМ-16 К7 є трирівнева гальванічна ізоляція між входами, виходами та джерелом живлення, що забезпечує підвищену надійність і безпечну експлуатацію в складних умовах.



Рисунок 4.3 – Індикатор ІТМ-16

Ці пристрої призначені як для автономного використання, так і для інтеграції в автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП), особливо актуальні для підприємств енергетики, металургії, хімічної, харчової та інших промислових галузей.

Індикатор підтримує підключення до шістнадцяти аналогових входів, що дозволяє контролювати параметри, які надходять у вигляді уніфікованих сигналів, напруги, а також від термопар і термоперетворювачів опору. Він також підтримує до 32 дискретних входів, сумісних з логічними сигналами, та до 34

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		46

дискретних виходів, які реалізуються через реле, транзистори з відкритим колектором або твердотільні реле. Один аналоговий вихід може бути реалізований за допомогою модулів розширення (наприклад, МР-52-11).

Функціональні можливості індикатора охоплюють вимірювання, обробку та відображення до 16 параметрів, таких як температура, тиск, витрата чи рівень, з виведенням інформації на чотиризначний цифровий дисплей. Пристрій може формувати дискретні керувальні сигнали для зовнішніх виконавчих механізмів згідно з налаштованою логікою, а також слугувати засобом сигналізації про відхилення контрольованих параметрів від заданих уставок.

Крім того, він здатний приймати дані від зовнішніх пристроїв через інтерфейс RS-485 за протоколом ModBus, що дозволяє йому працювати як віддалений візуалізатор параметрів. Індикатор також виконує функції сигналізації небезпечних станів, що відображається за допомогою світлових індикаторів на передній панелі.

За наявності додаткових модулів, пристрій може генерувати аналогові вихідні сигнали для прямого управління процесом. ІТМ-16 К7 здатен виконувати функції сигналізації, блокування або захисту технологічного обладнання, що робить його універсальним компонентом сучасної системи автоматизації.

Буйковий рівнемір 244LD LevelStar



Рисунок 4.4 – Інтелектуальний перетворювач 244LD LevelStar

				БР. АКПЗ-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		47

Інтелектуальний перетворювач рівня 244LD LevelStar призначений для точного визначення рівня, межі розділу середовищ або щільності рідин у різних технологічних процесах. Прилад працює на основі принципу виштовхувальної сили Архімеда, що забезпечує його високу надійність та довговічність. Він ефективно функціонує навіть в умовах високого тиску, температури та агресивного середовища.

Пристрій підтримує як аналогову, так і цифрову передачу даних, що дозволяє легко інтегрувати його в сучасні системи керування. Наявність цифрових протоколів HART, Profibus PA і FOUNDATION Fieldbus забезпечує зручне налаштування та експлуатацію через ПК, локальні кнопки або систему керування. Висока точність вимірювання, безперервна самодіагностика, функція імітації вихідного сигналу, а також можливість захисту налаштувань гарантують надійність у роботі та відповідність вимогам безпеки, зокрема в системах із SIL-сертифікацією.

Вимірювальні параметри приладу охоплюють широкий діапазон: сила від 2 до 20 Н, рівень від 50 мм до 50 м, щільність у межах 100–2000 кг/м³. Довжина буйка може становити від 350 до 3000 мм, а його вага — до 25 Н. Характеристика перетворення може бути як лінійною, так і визначеною користувачем (до 32 точок).

244LD LevelStar має аналоговий вихід 4–20 мА або 20–4 мА, із робочим діапазоном 3.8–20.5 мА. Підключення здійснюється за двопровідною схемою, а допустиме навантаження залежить від живлення. Перетворювач може працювати в середовищах із температурою від –196 °С до +400 °С, витримуючи тиск до Class 1500 або PN250, у тому числі із зовнішнім обігрівом. Температура навколишнього середовища може коливатися в межах від –40 до +70 °С, допускається робота при 100% вологості й конденсації.

Корпус приладу захищений за стандартом IP66, сенсор виготовлений із застосуванням металевого напилення, що підвищує його стійкість до агресивних

				БР. АКПЗ-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		48

середовищ. Існує можливість окремого монтажу сенсорної частини та електронного модуля, що забезпечує гнучкість інсталяції.

244LD LevelStar відзначається зручністю конфігурації, стійкістю до впливу зовнішніх факторів, високою точністю та широкими можливостями цифрової інтеграції, що робить його оптимальним вибором для застосування в промислових галузях із підвищеними вимогами до надійності та безпеки.

Вихрові витратоміри серії Emerson Rosemount 8800D призначені для точного вимірювання витрати рідин, газів і пари. Ці витратоміри використовують принцип утворення вихорів (ефект Кармана) для визначення швидкості потоку, де частота утворення вихорів пропорційна швидкості потоку. Серія 8800D відома своєю надійністю, простотою установки і низькими експлуатаційними витратами. Завдяки міцній конструкції без ущільнень, ці прилади мінімізують ризик протікання та потребують мінімального обслуговування.



Рисунок 4.5- Вихрові витратоміри серії Emerson Rosemount 8800D

Витратоміри серії Rosemount 8800D розроблені для точного вимірювання об'ємної витрати в різних середовищах, включаючи чисті та забруднені рідини, гази й пару. Завдяки широкому діапазону робочих параметрів і високій надійності ці пристрої широко застосовуються в таких галузях, як нафтогазова,

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		49

хімічна промисловість, енергетика, водопостачання, очищення стічних вод і харчова індустрія.

Основою вимірювання є принцип вихрового ефекту Кармана, що забезпечує стабільну точність без потреби в рухомих елементах або ущільненнях. Це знижує експлуатаційні витрати й мінімізує ймовірність збоїв.

Rosemount 8800D охоплює широкі вимірювальні діапазони: для рідин — від 0,9 до 85 000 м³/год, для газів — до 250 000 м³/год, для пари — до 250 000 кг/год. Працює при тиску до 150 бар і температурах від -200°C до +430°C. Доступні діаметри трубопроводу — від 15 мм до 1200 мм.

Корпус виготовляється з нержавіючої сталі, нікелевих сплавів або титану, що дозволяє використовувати витратомір у хімічно агресивному середовищі. Монтаж може здійснюватися фланцевим, зварним або міжфланцевим способом. Для зручності передбачено локальний РК-дисплей.

Вихідні сигнали підтримують як аналогову передачу 4–20 мА з HART, так і цифрові протоколи — Modbus, FOUNDATION Fieldbus та PROFIBUS. Живлення пристрою здійснюється постійною напругою від 12 до 42 В. Існують вибухозахищені версії, що відповідають міжнародним стандартам безпеки (ATEX, FM, CSA, IECEx).

Точність приладу варіюється від 0,65% до 1,5% для рідин та від 1,0% до 1,5% для газів і пари. Відсутність ущільнень і рухомих частин робить конструкцію практично безобслуговуваною, а також зменшує ризик витоків і зносу.

Rosemount 8800D ідеально підходить для моніторингу потоку у виробничих процесах, контролю витрати пари в енергетиці, управління потоками агресивних середовищ у хімічній промисловості та вимірювання витрати нафтопродуктів у трубопроводах. Висока точність, гнучкість застосування і підтримка сучасних комунікаційних стандартів забезпечують ефективну інтеграцію у системи автоматизації й підвищують загальну надійність технологічних процесів.

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		50

Yokogawa DX1000 — це електронний багатоканальний реєстратор із вбудованим дисплеєм, призначений для реєстрації, візуалізації та зберігання даних у режимі реального часу. Пристрій приймає сигнали з різних джерел, обробляє їх і дозволяє проводити детальний аналіз процесів, що відбуваються на об'єкті. Його використовують у промисловості для моніторингу критичних параметрів, зокрема в енергетиці, хімічному виробництві, системах водопостачання та очищення стічних вод, металургії та автоматизованих виробничих лініях.



Рисунок 4.6 - Yokogawa DX1000

DX1000 підтримує до 12 каналів для підключення аналогових сигналів, включаючи терморпари, термоперетворювачі опору (RTD), а також сигнали напруги й струму (наприклад, 0–20 мА, 4–20 мА, 1–5 В, 0–10 В). Частота запису налаштовується в діапазоні від 1 мс до 60 с, що дозволяє зберігати дані з високою деталізацією. Для відображення інформації передбачено яскравий кольоровий TFT-LCD дисплей з діагоналлю 5,5 дюймів.

Пристрій має вбудовану пам'ять об'ємом до 200 МБ, а також підтримує зовнішні USB-накопичувачі для розширеного архівування. Комунікаційні можливості включають Ethernet, USB, а також опційні інтерфейси RS-422/485 з підтримкою протоколів Modbus/TCP та Modbus/RTU. Для зручності аналізу та

				БР. АКПЗ-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		51

налаштування доступне фірмове програмне забезпечення Yokogawa DAQManager.

DX1000 сумісний з міжнародними стандартами безпеки та якості (UL, CE, CSA), а також підтримує гнучке підключення модулів вводу/виводу для розширення функціоналу. Для захисту даних реалізовано систему паролів та електронного підпису, що гарантує достовірність записаної інформації й контроль доступу. Завдяки універсальності, точності та зручності у використанні, цей реєстратор є ефективним інструментом для контролю технологічних процесів у різних виробничих умовах.

Нормувальний перетворювач сигналів АТТ1 (Ascon Tecnologic)



Рисунок 4.7 - Нормувальний перетворювач сигналів АТТ1 (Ascon Tecnologic)

АТТ1 — це сучасний перетворювач/нормалізатор сигналів, який виводить технологію вбудованих нормалізаторів на новий рівень завдяки універсальності та широкому функціоналу. Його ключова перевага — здатність працювати як з датчиками опору (Ом), так і з термопарами (мВ), що значно розширює сферу застосування одного пристрою.

Пристрій підтримує перетворення сигналів у діапазон 4–20 мА як для стандартних температурних датчиків, так і для користувацьких характеристик, які можна задати в межах 0...400 або 0...4000 Ом, або ж від –10 до +70 мВ. Наявність значного обсягу вбудованої пам'яті дозволяє зберігати до трьох

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		52

користувацьких характеристик по 96 сегментів кожна, що забезпечує високу гнучкість і точність налаштувань.

АТТ1 також оснащений настроюваним фільтром, а також функціями діагностики: виявлення обриву датчика та сигналізація при виході за допустимий діапазон значень. Особливо зручною є підтримка технології NFC, яка дає змогу конфігурувати пристрій безконтактно — як з персонального комп'ютера через комплект AFC1, так і за допомогою мобільних пристроїв на базі Android або Windows з відповідним програмним забезпеченням (ATNFC APP або ATNFC-Soft).

Датчик температури WİKA TR10-C – 14413401

Температурні датчики Wika — це надійні та високоточні пристрої, призначені для вимірювання температури рідин, газів та інших середовищ. Вони виготовляються з добірних матеріалів і відповідають найвищим вимогам якості. Продукція Wika широко використовується в різних галузях, зокрема в промисловості, енергетиці, медичній та фармацевтичній сферах.

Асортимент термодатчиків Wika включає моделі з різними характеристиками: діапазоном вимірювання, рівнем точності та конструктивними особливостями. У виробництві можуть застосовуватись матеріали, такі як нержавіюча сталь, латунь або бронза. Крім того, датчики можуть комплектуватись різними видами перетворювачів — терморезисторами, термопарами чи термоелементами.

Завдяки високій якості та універсальності, температурні давачі Wika є оптимальним вибором для вимірювання температури у найрізноманітніших умовах. Їх можна підібрати відповідно до конкретних технічних вимог і завдань.

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		53



Рисунок 4.8 - Датчик температури WİKA TR10-C – 14413401

Температурні давачі виробництва компанії Wika характеризуються низкою важливих експлуатаційних переваг. До них належать висока точність вимірювання та надійність функціонування, широкий робочий температурний діапазон, використання якісних конструкційних матеріалів, дотримання провідних міжнародних стандартів якості, а також наявність широкого модельного ряду, що дозволяє обирати рішення відповідно до конкретних технічних вимог.

Однією з типових моделей є термометр опору PT100 WİKA TR10-C з артикульним номером 14413401. Конструкція пристрою передбачає наявність багат шарової захисної трубки, виготовленої з корозійностійкої хромонікелевої сталі марки 1.4571. З'єднання з технологічним процесом здійснюється за допомогою зварної нероз'ємної різьби. Зондування відбувається на глибині 160 мм. Вимірювальна вставка є змінною, що дозволяє проводити її демонтаж та обслуговування без зупинки роботи системи в цілому.

Пристрій оснащений цифровим вимірювальним модулем T15, який забезпечує точність класу А згідно зі стандартом EN 60751 та дозволяє здійснювати вимірювання у діапазоні від -30 до +300 °C. Конфігурація передавача T15 виконується за допомогою програмного модуля PU-548, що доступний як додатковий аксесуар.

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		54

З технічної точки зору, модель TR10-C функціонує у діапазоні робочої напруги від 8 до 35 В постійного струму з вихідним сигналом 4–20 мА. Захист від короткого замикання забезпечує додаткову безпеку експлуатації. Процесне з'єднання здійснюється за допомогою зовнішньої різьби G 1/2, зонд має діаметр 6 мм. Корпус виготовлено з алюмінію, а елементи, що контактують із середовищем, — з нержавіючої сталі 316 Ti (1.4571).

Пристрій призначений для експлуатації в умовах температури навколишнього середовища від -40 до +85 °C і має клас захисту IP65, що робить його придатним для роботи з газоподібними та рідкими середовищами у промислових умовах.

WIKА 213.53 Bourdon Tube Pressure Gauge



Рисунок 4.9 - WIKА 213.53 Bourdon Tube Pressure Gauge

Манометр моделі WIKА 213.53 є трубчастим (пружинним) приладом, призначеним для вимірювання тиску рідин і газоподібних середовищ у промислових умовах. Пристрій поєднує високу точність вимірювань, надійність експлуатації та стійкість до впливу агресивних середовищ.

Конструктивно манометр складається з корпусу, виготовленого з нержавіючої сталі марок AISI 304 або 316, що забезпечує високу корозійну стійкість. Чутливий елемент — трубчаста пружина Бурдона — виготовляється залежно від модифікації з латуні, нержавіючої сталі або монелю. Вимірювальні дані відображаються на аналоговому індикаторі з круговою шкалою, діаметр

				БР. АКПЗ-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		55

якої може становити від 40 до 160 мм. Захисне вікно виконується з ламінованого скла або ударостійкої пластмаси.

Манометр WİKA 213.53 доступний у широкому діапазоні вимірювань — від 0–0,6 бар до 0–1000 бар, включаючи варіанти для вимірювання вакууму (від -1 до 0 бар). Клас точності приладу становить 1,0% від повної шкали або 1,6% — для моделей з діаметром до 63 мм. Робочі температурні умови допускають експлуатацію пристрою за температури навколишнього середовища від -20°C до +60°C, а також температури вимірюваного середовища — до +100°C.

З'єднувальні елементи відповідають стандартам BSP або NPT з типорозмірами 1/4" або 1/2". Ущільнювальні матеріали можуть варіюватися в залежності від середовища застосування (зокрема, можливе використання NBR або EPDM).

Принцип дії манометра базується на деформації трубчастої пружини під дією внутрішнього тиску. Відповідне переміщення механічно передається через систему важелів і шестерень на індикаторну стрілку, яка забезпечує зчитування тиску в реальному часі.

Пристрій придатний для застосування з рідинами та газами, які не проявляють хімічної агресивності щодо конструкційних матеріалів (латуні, нержавіючої сталі або монелю). Ступінь захисту корпусу — IP65 — гарантує стійкість до проникнення пилу та водяних струменів, що дозволяє використовувати прилад у складних експлуатаційних умовах.

Висновки до розділу

У даному розділі бакалаврської роботи розглядаються питання проектування функціональної схеми автоматизації технологічного процесу, а також здійснюється обґрунтований вибір сучасних технічних засобів автоматизації, що забезпечують необхідний рівень точності, надійності та енергоефективності системи управління.

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		56

У межах запропонованої автоматизованої системи регулювання температурних і витратних параметрів технологічного середовища передбачено використання мікропроцесорного терморегулятора типу МТР-8К7, що виконує функції точного підтримання температурних режимів. Для вимірювання об'ємної витрати обрано вихрові витратоміри серії Emerson Rosemount 8800D, які характеризуються високою стабільністю показників та придатністю до експлуатації в умовах змінних гідравлічних режимів.

Як первинний температурний перетворювач передбачено застосування давача температури моделі WKA TR10-C з артикулом 14413401, який забезпечує надійне вимірювання температури у широкому діапазоні та придатний до роботи в агресивних або динамічних середовищах.

Для збору, візуалізації та архівації даних вибрано багатоканальний електронний реєстратор з дисплеєм Yokogawa DX1000, що дозволяє ефективно контролювати параметри процесу в реальному часі та здійснювати подальший аналіз вимірюваних даних.

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		57

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У першому розділі роботи подано опис технологічної установки для виробництва інгібітору корозії марки «Нафтохім». Здійснено детальний аналіз технологічного процесу, в межах якого визначено необхідні параметри для контролю та регулювання на відповідних рівнях автоматизації.

Другий розділ присвячено математичному моделюванню об'єкта керування — реактора. На основі експериментальних даних здійснено ідентифікацію динамічних характеристик і побудовано передавальні функції для основного каналу («температура в реакторі») та допоміжного каналу («тиск у реакторі»). Похибка апроксимації отриманих моделей не перевищує допустимих меж.

У третьому розділі наведено обґрунтований вибір типу регулятора для одноконтурної автоматизованої системи керування (АСК) та визначено його оптимальні параметри налаштування. Також змодельовано каскадну АСК із розрахунком параметрів основного та допоміжного регуляторів. Побудовано передавальні функції відповідних контурів регулювання. Проведено аналіз стійкості одноконтурної системи згідно з критеріями Гурвіца та Михайлова, а також досліджено стійкість каскадної системи з використанням критерію Найквіста. За результатами досліджень встановлено, що обидві системи є стійкими.

Четвертий розділ присвячено розгляду контурів регулювання у складі функціональної схеми автоматизації. Проведено аналіз загальних вимог до вибору технічних засобів автоматизації, обґрунтовано вибір сучасних приладів і засобів контролю та регулювання, які відповідають заданим технічним і експлуатаційним вимогам.

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		58

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник /Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
2. Датчик температури WIKA TR10-C - 14413401 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://peko.com.ua/process-sensors/temperature-sensors/wika-tr10-c-14413401-30-300-c>.
3. Перетворювачі уніфікованих сигналів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.svaltera.ua/catalog/784/>.
4. Буйковий рівнемір 244LD LevelStar [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://altem.com.ua/uk/products/buykoviy-r%D1%96vnem%D1%96r-244ld-levelstar-270.html>.
5. Індикатор струмової петлі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://svaltera-nikolaev.uaprom.net/ua/p28853254-indikator-tokovoj-petli.html>.

				БР. АКПз-22.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		59