

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

МР.АКПМ-10.00.00.000 ПЗ

Група АКПМ-24-1

Василь Калініченко

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

Калініченко Василь Костянтинович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.5
(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Розроблення системи автоматичного керування процесом виділення

(назва роботи)

бутадієну шляхом використання засобів нечіткої логіки

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

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

(шифр і назва спеціальності)

Консультант з нормоконтролю

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

Здобувач освітнього ступеня

АКПм-24-1 В.К. Калініченко
(шифр групи) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Науковий керівник

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

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доцент, к.т.н. А.І. Лагойда
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент, к.т.н. І.І. Чигур
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

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

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 другий (магістерський)

Спеціальність 174 - Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та

(шифр і назва)

робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ

(А.І. Лагойда)

« » 20 року

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

Калініченко Василь Костянтинович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи автоматичного керування процесом
виділення бутадієну шляхом використання засобів нечіткої логіки

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

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

затвердені наказом закладу вищої освіти від «10» листопада 2025 року № 699/7

2. Строк подання студентом роботи 08.12.2025

3. Вихідні дані до роботи Матеріали практик, науково-технічні журнали,
довідники

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Аналіз технологічного процесу виділення бутадієну, як
об'єкта автоматизації. 2. Математичне моделювання екстракційної колони, як
об'єкта керування. 3. Моделювання одноконтурної та багатоконтурної системи
автоматичного керування екстракційної колони. 4. Розробка проєкту
функціональної схеми. Загальні висновки.

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

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 30.10.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу виділення бутадієну, як об'єкта автоматизації		
2	Математичне моделювання екстракційної колони, як об'єкта керування		
3	Моделювання одноконтурної та багатоконтурної системи автоматичного керування екстракційної колони		
4	Розробка проекту функціональної схеми		

Студент _____
(підпис)

Калініченко В.К.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Лагойда А.І.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота на здобуття кваліфікації магістра за спеціальністю 174 - «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» та освітньою програмою - «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». - Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. - Івано-Франківськ, 2025.

У першому розділі виконано аналіз технологічного процесу виділення бутадієну-1,3, охарактеризовано його хімічні властивості та етапи виробництва. У другому розділі обрано об'єкт керування - екстракційну колону, побудовано її структурну схему та надано детальний опис. Проведено експериментальні дослідження, під час яких у середовищі Mathcad з графіка кривої розгону отримано необхідні показники для подальшого аналізу. Далі здійснено динамічне моделювання в середовищі Matlab з використанням панелі інструментів ідентифікації, що дозволило отримати найточніші результати з мінімальними похибками. За його результатами сформовано передавальну функцію та створено два канали - основний і допоміжний - для дослідження одноконтурних і багатоконтурних систем керування.

У третьому розділі проведено дослідження регуляторів та оцінено їхню стійкість при впливі різних збурювань. В останньому розділі обґрунтовано необхідність впровадження функціональної системи автоматизації (ФСА). Обрано технічні засоби автоматизації (ТЗА) та наведено їхні характеристики, а також створено функціональну схему автоматизації процесу абсорбційного осушення газу.

Ключові слова: штучна-нейромережа, екстракційна колона, крива розгону, синтез, передавальна характеристика, моделювання, нечіткий регулятор, час розгону, нечіткий, діаграма, регулятор, функція, правила, Mamdani, Sugeno.

ANNOTATION

Master's thesis for obtaining a master's degree in specialty 174 - "Automation, computer-integrated technologies and robotics" and educational program - "Automation and computer-integrated technologies". - Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. - Ivano-Frankivsk, 2025.

The first section analyzes the technological process of 1,3-butadiene isolation, characterizes its chemical properties and production stages. In the second section, the control object - an extraction column - is selected, its structural diagram is built and a detailed description is provided. Experimental studies are carried out, during which the necessary indicators for further analysis are obtained in the Mathcad environment from the acceleration curve graph. Then, dynamic modeling is carried out in the Matlab environment using the identification toolbox, which allowed obtaining the most accurate results with minimal errors. According to its results, a transfer function is formed and two channels - the main and auxiliary - are created for the study of single-loop and multi-loop control systems.

In the third section, a study of regulators is carried out and their stability under the influence of various disturbances is assessed. In the last section, the need for the implementation of a functional automation system (FSA) is substantiated. Technical means of automation (TZA) are selected and their characteristics are given, and a functional scheme for the automation of the absorption gas drying process is also created.

Keywords: artificial neural network, extraction column, acceleration curve, synthesis, transfer characteristic, modeling, fuzzy controller, acceleration time, fuzzy, diagram, controller, function, rules, Mamdani, Sugeno.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1	
АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИДІЛЕННЯ БУТАДІЄНУ, ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	12
1.1. Хімічні властивості бутадієну.....	12
1.2. Виробництво бутадієну.....	15
1.3. Крекінг і пов'язані з ним процеси нафтопереробки.....	16
1.3.1. Паровий крекінг.....	18
1.3.2. Каталітичний крекінг.....	22
Висновки до розділу 1.....	23
РОЗДІЛ 2	
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСТРАКЦІОНОЇ КОЛОНИ, ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	24
2.1. Розробка структурної схеми екстракційної колони.....	24
2.2. Проведення експерименту математичного моделювання екстракційної колони.....	27
Висновки до розділу 2.....	34
РОЗДІЛ 3	
МОДЕЛЮВАННЯ ОДНОКОНТУРНОЇ ТА БАГАТОКОНТУРНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕКСТРАКЦІОНОЇ КОЛОНИ.....	35
3.1. Проведення аналізу типу регуляторів.....	35
3.2. Створення моделі одноконтурної системи та пошук регулятора для оптимізації процесу.....	37
3.3. Дослідження стійкості одноконтурної системи.....	44

3.4. Розробка нечіткого регулятора для одноконтурної САК.....	48
3.5. Дослідження одноконтурної системи, застосування адаптивного нечіткого ПД – регулятора.....	56
3.6. Моделювання багатоконтурної системи та підбір регулятора.....	67
3.7. Дослідження стійкості багатоконтурної системи.....	70
Висновки до розділу 3.....	72
РОЗДІЛ 4	
РОЗРОБКА ПРОЄКТУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ.....	73
4.1. Розробка створення проєкту функціональної схеми автоматизації процесу виділення бутадієну 1.3.....	73
Висновки до розділу 4.....	79
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	82
ДОДАТКИ.....	83

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ**

ПП - програмний продукт.

САК - система автоматичного керування.

ФСА - функціональна схема автоматизації.

АСУ - автоматична система управління.

АСК - автоматична система керування.

ОК - об'єкт керування.

ОР - орган регулювання.

ШНМ - штучно-нейронна мережа.

П - пропорційний.

І - інтегральний.

ПІ - пропорційно - інтегральний.

ПД - пропорційно - диференційний.

ПІД - пропорційно - інтегрально - диференційний.

ВСТУП

Актуальність теми. Бутадієн є високоцінним хімічним продуктом, який утворюється під час процесу парового крекінгу та слугує ключовим мономером для синтезу полімерних матеріалів, паперових покриттів і синтетичного каучуку, що широко використовується у виробництві шин. Процес його вилучення органічно інтегрується в подальші стадії переробки фракції С4 парокрекінгових установок і може бути адаптований відповідно до специфіки конкретного промислового об'єкта та регіональних умов. Унаслідок цього виділення бутадієну становить важливу складову загальної технологічної схеми нафтохімічного комплексу, що зумовлює актуальність і наукову значущість дослідження відповідного процесу.

Обґрунтування вибору теми дослідження. Бутадієновий синтетичний каучук посідає ключове місце в сучасних технологічних виробництвах, а підвищення показників ефективності відповідної системи керування забезпечує її швидку та адекватну реакцію на динамічні зміни технологічного середовища. Це, у свою чергу, сприяє стабілізації параметрів процесу та підвищенню якості кінцевого продукту.

Мета та завдання дослідження. Метою проведеного дослідження є підвищення ефективності та якості функціональних показників технологічного процесу шляхом упровадження методів штучного інтелекту. У межах поставленої наукової задачі здійснюється комплексне вивчення технологічної схеми та хіміко-технологічних властивостей об'єкта, формування структурної моделі процесу, обґрунтований вибір об'єкта керування, розроблення його математичного опису та побудова адекватних моделей. Передбачено пошук оптимальної моделі системи, визначення та налаштування регуляторів, моделювання одноконтурних і каскадних систем керування, а також оцінювання їх стійкості за наявності зовнішніх збурень. Подальша оптимізація здійснюється шляхом застосування апарату нечіткої логіки, включно зі створенням бази правил і впровадженням адаптивного нечіткого регулятора. На завершальному етапі формуються

функціональна схема автоматизації та виконується добір відповідних технічних засобів автоматизації.

Об'єктом дослідження є автоматизована система керування технологічним процесом селективного виділення бутадієну 1.3.

Предмет дослідження є технологічний комплекс екстракційного відокремлення бутадієну з багатокомпонентної вуглеводневої суміші.

Методи дослідження. У межах виконання роботи використано сукупність емпіричних та комплексних методів дослідження. До емпіричних належать процедури інструментальних вимірювань, порівняльний аналіз параметрів та експериментальна перевірка гіпотез. Комплексні методи охоплюють системний аналіз, синтез структурних рішень та побудову імітаційних моделей досліджуваного технологічного процесу.

Новизна отриманих результатів.

Синтез адаптивного нечіткого ПД-регулятора, спрямований на підвищення якості кінцевої продукції та покращення інтегральних показників функціонування технологічної системи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.

Тематика даної магістерської роботи повністю корелює з положеннями чинного Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки». Теоретико-методологічне підґрунтя дослідження сформовано на базі результатів, отриманих у межах виконання науково-дослідних проєктів ІФНТУНГ, що реалізовувалися відповідно до державних наукових програм. Зокрема, використано напрацювання за такими темами:

- «Синтез комп'ютеризованих систем та створення програмного забезпечення для об'єктів нафтогазового комплексу» (державний реєстраційний номер № 011U605890);

- «Науково-організаційні основи збільшення обсягів видобутку нафти і газу в Україні та диверсифікації постачання енергоресурсів з метою підвищення енергетичної безпеки держави» (державний реєстраційний номер № 0115U007099).

Практичне значення отриманих результатів. Виконані експериментальні дослідження створюють підґрунтя для підвищення якості кінцевої продукції, покращення ключових експлуатаційних характеристик та оптимізації технологічного процесу виділення бутадієну-1,3.

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та 1 додатка. Повний обсяг магістерської роботи становить 84 сторінки: обсяг основного тексту - 81 сторінка, 63 рисунки, 14 таблиць; список використаних джерел, що включає 11 найменувань та займає 1 сторінку; 1 додаток на 2 сторінки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИДІЛЕННЯ БУТАДІЄНУ, ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1. Хімічні властивості бутадієну

Бутадієн - це вуглеводень, який складається з двох атомів вуглецю та чотирьох атомів водню. Це безбарвний і легкозаймистий газ із солодким запахом. Бутадієн нерозчинний у воді, але розчинний в органічних розчинниках. Це слабка кислота і слабка основа. Бутадієн є хорошим розчинником багатьох органічних сполук. Він також є хорошим розчинником металів. Бутадієн є реакційноздатною сполукою і може утворювати багато різних типів хімічних зв'язків. Це хороший мономер для синтезу полімерів. Бутадієн є канцерогеном і може викликати рак.

Бутадієн найчастіше використовується у виробництві синтетичного каучуку. Він також використовується у виробництві пластмас, смол і клеїв. Бутадієн також використовується як добавка до палива для поліпшення згоряння бензину.

Бутадієн ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2$) - вуглеводень, який використовується у виробництві синтетичного каучуку. Він також використовується у виробництві пластмас, розчинників та інших хімікатів. У виробництві синтетичного каучуку бутадієн реагує зі стиролом з утворенням каучуку, який називається стирол-бутадієновим каучуком (SBR). Бутадієн також використовується для виробництва полібутадієну, який є різновидом синтетичного каучуку. Полібутадієн використовується у виробництві шин, шлангів та інших гумових виробів. Бутадієн також використовується для виробництва акрилонітрилбутадієнстиролу (АБС), який є різновидом пластику. АБС використовується у виробництві автомобільних деталей, меблів та інших виробів. Бутадієн також використовується для виробництва розчинників, таких як метилізобутилкетон (МІВК) і толуол. МІВК використовується у виробництві фарб та інших покриттів. Толуол використовують у виробництві фарб, чорнила.

Структура бутадієну, зображена на рисунку 1.1 та 1.2, показує, що ця

молекула має загалом два пі-зв'язки. Перший пі-зв'язок спільний між вуглецем 1 і вуглецем 2, другий пі-зв'язок – між вуглецем 3 і вуглецем 4. Назва цієї молекули натякає на наявність двох пі-зв'язків. Нижче подано аналіз назви «бутадієн»:

- Префікс бута- означає, що в одній молекулі бутадієну є загалом чотири атоми вуглецю, що підтверджується її молекулярною формулою, C_4H_6 .

- Суфікс -ен є стандартним суфіксом, який символізує сімейство алкенів. Це підтверджує наявність подвійного зв'язку між атомами вуглецю.

- Префікс ді- стоїть перед суфіксом -ене, сигналізуючи про те, що в бутадієні є два пі-зв'язки. Походить з грецької мови, ді- означає два або подвійний. Він часто використовується в хімії, щоб показати, що є два з чогось. Прикладом є вуглекислий газ, CO_2 , в якому два кисні. Ідея та сама з бутадієном; ді- - ен означає наявність двох пі-зв'язків [1].

Систематична назва бутадієну - бута-1,3-дієн. Ця назва вказує на розташування пі-зв'язків, які ініціюються на вуглеці 1 і вуглеці 3.

Молекулярну структуру бутадієну можна представити різними способами, які можна підсумувати наступним чином:

Бутадієн можна представити, чітко показуючи всі атоми вуглецю та водню та те, як вони з'єднані між собою. Цей спосіб представлення, показаний на малюнку 1, називається структурною формулою Льюїса.

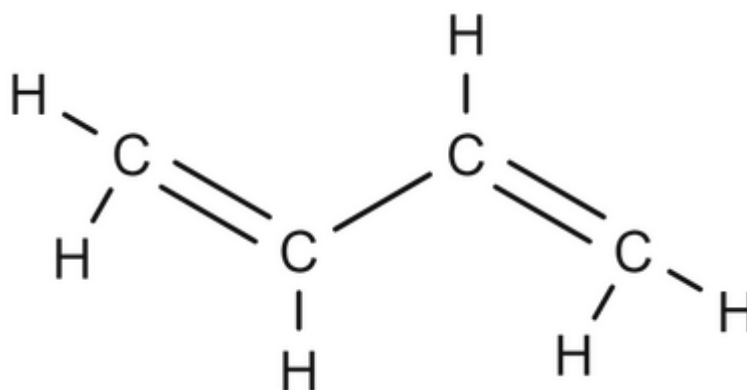


Рис. 1.1. Структурна формула бутадієну

Бутадієн можна представити за допомогою тривимірної моделі кулі та палички, показаної на малюнку рис 1.2. Атоми вуглецю є великими сірими сферами, а атоми водню – меншими білими сферами. Цей спосіб представлення

показує, як атоми відрізняються за розміром, а також те, як вони пов'язані між собою.

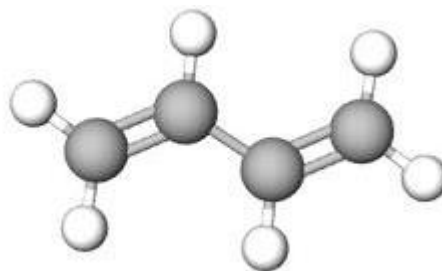


Рис. 1.2. Тривимірна структура бутадієну

У цій тривимірній структурі бутадієну сірі сфери — це атоми вуглецю, а білі - атоми водню.

Таблиця 1.1

Властивості бутадієну

Параметр	Дані
Молярна маса	54 г/моль
Запах	Слабкий бензиновий запах
Точка кипіння	-4°C
Точка плавлення	-109°C
Температура	Амозаймання 415°C
Полярність	Неполярний - Зовнішній
Вигляд	Безбарвний газ
Розчинність	Розчинний у метанолі, етанолі, ефірі, ацетоні
Щільність	0,62 г/мл при 20°C. Питома
вага	0,65 при -4,44°C
В'язкість	10 мПа*с
Показник заломлення	1,4292
Горючість	Легкозаймистий
Точка займання	-76°C

Бутадієн - безбарвний газ зі слабким бензиновим запахом. Цей газ характеризується надзвичайною легкозаймистістю та подразливістю. Також відомо, що він є канцерогеном, тобто речовиною, яка здатна викликати рак. Різниця електронегативності між атомами бутадієну незначна; розподіл електронів між атомами майже симетричний. Це означає, що бутадієн є неполярною молекулою. Його неполярна природа є причиною того, чому він не може розчинятися у воді, яка є полярним розчинником. Однак він може розчинятися в різних інших неполярних органічних розчинниках, таких як органічні спирти, ацетон і ефір. Таблиця 1.1 показує важливі властивості бутадієну.

1.2. Виробництво бутадієну

Бутадієн (C₄ H₄ - номер CAS 106-99-0) зазвичай виробляють трьома процесами:

- Паровий крекінг парафінових вуглеводнів (як супутній продукт виробництва етилену).
- Каталітичне дегідрування n -бутану і n -бутену (процес Хоудрі).
- Окисне дегідрування n -бутену (Охо-D або OXD процес).

Найважливішим з трьох є процес парового крекінгу, на який припадає понад 95% світового виробництва бутадієну. У процесі парового крекінгу бутадієн є одним із побічних продуктів.

Більшість бутадієну використовується у виробництві полімерів або хімічних проміжних продуктів, які йдуть у виробництво полімерів. Ці полімери використовуються в різноманітних споживчих і промислових продуктах, які приносять величезну користь суспільству. Ці полімерні вироби покращують функціональність і продуктивність споживчих товарів, покращують безпеку та знижують вартість цих продуктів. Продукти на основі бутадієну є важливими компонентами автомобілів, будівельних матеріалів, деталей побутової техніки, комп'ютерів.

Бутадієн є основним продуктом нафтохімічної промисловості та

використовується в багатьох цінних і корисних споживчих і промислових продуктах.[2] Майже весь бутадієн виробляється як побічний продукт процесу парового крекінгу виробництва етилену. Основне кінцеве використання - бутадієновий каучук і полібутадієн, на які припадає 54% виробництва бутадієну. Виробництво шин є найважливішим використанням цих каучуків на основі бутадієну.

1.3. Крекінг і пов'язані з ним процеси нафтопереробки

Ми значною мірою залежимо від сирової нафти, пов'язаних з нею газів і природного газу (переважно метану) як джерела рідкого палива (бензину, дизельного палива) і сировини для хімічної промисловості.

Нафта та пов'язані з нею гази складаються із суміші сотень різних вуглеводнів, що містять будь-яку кількість атомів вуглецю від одного до понад сотні. Більшість із них - це насичені вуглеводні з прямим ланцюгом, які, за винятком спалювання, мають відносно мало прямого використання в хімічній промисловості або як паливо для автомобілів.

Таким чином, різні фракції, отримані в результаті дистиляції сирової нафти та супутніх газів, необхідно додатково обробляти на нафтопереробних заводах, щоб зробити їх корисними. Найціннішими фракціями для хімічної промисловості та для виробництва бензину є зріджений нафтовий газ (LPG), нафта, гас і газойль. Їх обробляють кількома способами, включаючи крекінг, ізомеризацію та риформінг.

Комплекс в Людвігсгафені в Німеччині є найбільшим безперервним хімічним заводом у світі. Лише парові крекери займають 64 000 м², що приблизно дорівнює розміру 13 футбольних полів. Вихідною сировиною є нафта, а основними продуктами є етен і пропен, які використовуються для виробництва полімерів.

Бензин містить суміш вуглеводнів з 5-10 атомами вуглецю. Суміш C₅ - C₁₀ вуглеводнів, отримані безпосередньо в результаті дистиляції сирової нафти, містять високий вміст алканів з прямим ланцюгом. Однак, якщо цю суміш використовувати як бензин, вона завдає серйозної шкоди двигуну автомобіля. Бензин, що містить

високу частку алканів з прямим ланцюгом, має тенденцію до займання в циліндрі двигуна автомобіля, коли поршень збільшує тиск і до того, як циліндр досягне оптимального положення[4].



Рис. 1.3. Вид парового крекеру в Людвігсгафені в Німеччині

В ідеалі суміш парів бензину і повітря запалюється іскрою в заданому положенні поршня в циліндрі. Ця проблема передчасного запалювання називається передзапалюванням, а також детонацією двигуна. Термін «стукіт» використовується, оскільки можна почути попереднє запалювання. Сильний стукіт може призвести до серйозних пошкоджень двигуна.

Однак алкани з розгалуженим ланцюгом, циклоалкани та ароматичні вуглеводні є набагато стійкішими до детонації, і алкани з прямим ланцюгом перетворюються на них у серії процесів на нафтопереробному заводі, які описані в цьому підрозділі.

Стійкість бензину до детонації вимірюється октановим числом (октановим числом). Чим вище число, тим менша ймовірність попереднього запалювання палива.

Октанове число визначається за шкалою, де гептану надається довільна оцінка 0, а 2,2,4-триметилпентану (ізооктану) - 100. Таким чином, бензин із такими ж детонаційними характеристиками, як і суміш 95% 2,2,4-триметилпентан і 5% гептан мають октанове число 95. Показник 95 не означає, що бензин містить лише

ізооктан і гептан у цих пропорціях, а те, що він має таку саму тенденцію до детонації, як і ця суміш.

Октанове число бензинів, які зазвичай доступні для автомобілів, коливається від 95 і вище, і вони містять суміш циклічних і ароматичних вуглеводнів з прямим ланцюгом, розгалужених ланцюгів і ароматичних вуглеводнів, утворених процесами, описаними нижче.

Ці процеси також використовуються для перетворення вуглеводнів з нерозривним ланцюгом на вуглеводні, які набагато корисніші для виробництва хімічних речовин, які потім використовуються для створення величезного діапазону сполук від полімерів до фармацевтичних препаратів.

Крекінг, як випливає з назви, — це процес, у якому великі молекули вуглеводнів розщеплюються на більш дрібні та корисніші, наприклад:

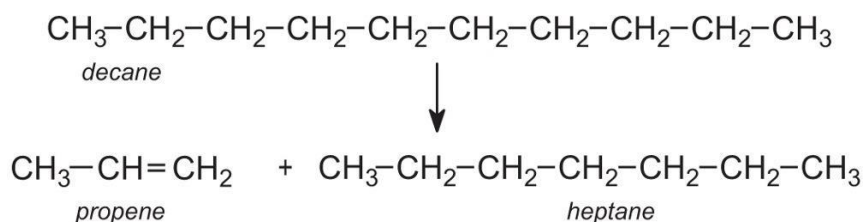


Рис. 1.4. Розщеплення декану

Продукти крекінгу, такі як етен, пропен, бута-1,3-дієн і С4 алкени, використовуються для виробництва багатьох важливих хімічних речовин. Інші, такі як розгалужені та циклічні алкани, додають до бензинової фракції, отриманої в результаті дистиляції сирої нафти, для підвищення октанового числа.

Крекінг відбувається при високих температурах двома процесами:

- Паровий крекінг, який дає високі виходи алкенів.
- Каталітичний крекінг, в якому використовується каталізатор і який дає високі виходи розгалужених і циклічних алканів.

1.3.1. Паровий крекінг

Установки парового крекінгу використовують, наприклад, різноманітну

сировину:

- етан, пропан і бутан з природного газу;
- нафта, суміш вуглеводнів від C 5 до C 10 , отримана від дистиляції сирової нафти;
- газойль і залишки, також від первинної перегонки нафти.

Нещодавно в Сінгапурі було запущено крекінг-завод, сировиною для якого є сама сира нафта. Це було зроблено вперше. Переваги цього полягають у тому, що він усуває дорогі процеси дистиляції, необхідні, наприклад, для виробництва нафти, і що він виробляє більш широкий спектр продуктів. Однак недоліком є те, що він може не дати необхідного продукту з достатньо високим виходом. Наприклад, якщо ви хочете отримати високий вихід етену, краще зробити його з етану або нафти.

Сучасні заводи парового крекінгу є дуже великими, зазвичай виробляють 1-2 мільйони тонн продукції на рік, і нещодавно було побудовано кілька, які можуть мати продуктивність майже 3 мільйони тонн на рік і коштувати близько 1 мільярда доларів на будівництво.

Газо-реагенти (етан, пропан або бутан) або рідини (нафта або газойль) попередньо нагріваються та випаровуються, змішуються з парою та нагріваються до 1050-1150 К у трубчастому реакторі . Вони перетворюються на алкени з низькою відносною молекулярною масою (плюс побічні продукти).

Частка різних продуктів парового крекінгу в основному залежить від двох факторів:

- Склад вихідної сировини.
- Суворість використовуваних умов (температура печі реактора та час, необхідний для проходження через неї реагентів).

Склад продуктів значною мірою залежить від використовуваної сировини. Наприклад, набагато більша частка етену в інших продуктах утворюється з етану та пропану, ніж з іншої сировини. Однак, якщо потрібно більше LPG (сирого піролізного бензину), суміші вуглеводнів C5-C8, можна вибрати нафту або газойль. Детальніше наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Типовий вихід продукту (%) за масою від парового крекінгу різних вуглеводневих сировин

Продукт	Вихідна сировина			
	етан	пропан	нафта	газойль
водень	5	2	1	1
Метан	9	27	15	8
Етен	9	27	15	8
Пропен	3	19	16	14
Бутени	-	-	5	5
Бута-1,3-дієн	2	3	5	6
RPG*	3	7	19-29	20
Мазут	-	-	4	23-31

*RPG - (сирий піролізний бензин) являє собою суміш вуглеводнів C5 - C8. РПГ вибірково гідрогенізують, потім ароматичні речовини (бензол, метилбензол (толуол) і диметилбензоли (ксилоли)) видаляють екстракцією розчинником, а залишок використовують як паливо, наприклад, для змішування бензину.

Вибрані умови для температури печі та швидкості потоку нагрітих реагентів залежать від необхідних продуктів, як показано в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Вихід продукту/% за масою від парового крекінгу нафти

Продукт	Низька серйозність (час перебування 1000 К 0,5 с)	Висока жорсткість (1150 К, час перебування 0,1 с)
Водень	1	1
Метан	15	18
Етен	19	32
Пропен	16	13
C4 вуглеводні	10	9
RPG	36	18
Інші	3	9

Важливо переконатися, що вихідна сировина не розтріскується з утворенням вуглецю, який зазвичай утворюється при цій температурі.



Рис. 1.5. Продукти парового крекінгу включають суміш вуглеводнів C1-C4 і розділяються шляхом фракційної перегонки. Деякі колони: 1 - Дебутанізатор, який відокремлює вуглеводні C4 від вуглеводнів C1 - C3; 2 - Депропанізатор, який відокремлює вуглеводні C3; 3 - Деетанізатор, який відокремлює вуглеводні C2; 4 - Деметанізатор, який відокремлює метан; 5 - Розділювач C3 який відокремлює пропен від пропану; 6 - Розділювач C2, який відокремлює етен від етану

Цього можна уникнути, пропускаючи газоподібну сировину дуже швидко та під дуже низьким тиском через труби, які проходять через піч. Однак існує проблема; якщо установка працює при тиску нижче атмосферного, може виникнути витік, який дозволяє повітрю проникнути в гази та утворити вибухову суміш. Цьому запобігає змішування вихідної сировини з паром. Пара також діє як розріджувач і перешкоджає карбонізації.

Ця ендотермічна реакція відбувається менш ніж за секунду, коли вуглеводнева суміш проходить через труби в радіаційній секції крекінг-печі. Продукти швидко охолоджуються (гасяться), щоб запобігти втратам через побічні реакції, і розділяються в серії процесів, включаючи стиснення, абсорбцію, сушіння,

охолодження, фракціонування та селективне гідрування. Установа парового крекінгу є однією з найбільш технічно складних і енергоємних установок хімічної промисловості. Він має обладнання, що працює від 100 К до 1400 К і в умовах близького вакууму до 100 атм. Незважаючи на те, що основи процесу не змінилися протягом останніх десятиліть, удосконалення енергоефективності печі продовжується, забезпечуючи постійне зниження собівартості виробництва.

1.3.2. Каталітичний крекінг

Каталізатор дозволяє використовувати більш низькі температури реакції. У псевдозрідженому каталітичному крекінгу вихідною сировиною є газойль, який випаровується та пропускається через цеоліт, утворений у вигляді тонкого порошку (установка 2), нагрітого приблизно до 700-800 К у реакторі. Він настільки тонкий, що поводить себе як рідина і постійно витікає з печі разом з продуктами крекінгу. Температура, час перебування та каталізатор визначають пропорції продукту. Після крекінгу каталізатор відокремлюють від продуктів, регенерують спалюванням відкладеного вуглецю на повітрі (900 К) і згодом переробляють.

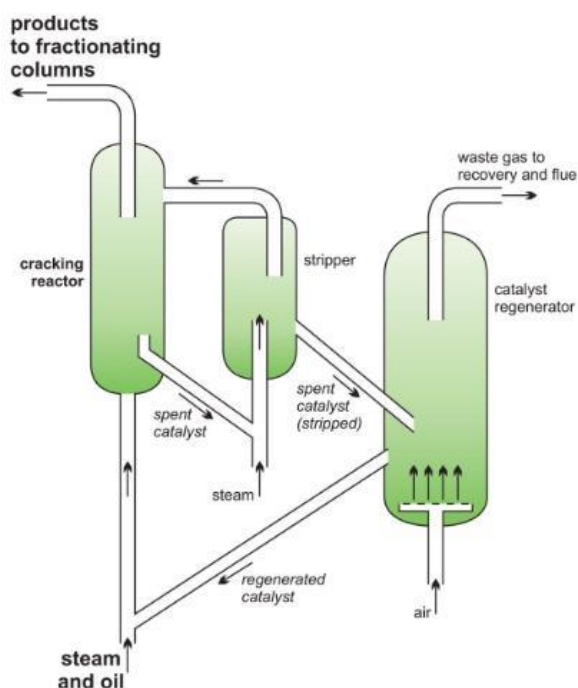


Рис. 1.6. Каталітичний крекінг, що використовується для отримання алкенів із газойлю

Продукти:

- газ, основними складовими якого є етен і пропен;
- рідина, яка використовується для бензину і містить алкани з розгалуженим ланцюгом, циклоалкани та ароматичні вуглеводні;
- висококиплячий залишок, який використовується як мазут.

Відносні пропорції продуктів, як зазначено вище, можуть бути змінені шляхом зміни каталізатора та температури. Можна використовувати один із кількох цеолітів. Наприклад, якщо обраний цеоліт містить ZSM-5, вихід пропену збільшується.

Варіант процесу відомий як гідрокрекінг . Крекінг проводять воднем при тиску 80 атм і каталізатором з тонкодисперсної платини на кремнеземі або оксиді алюмінію. Оскільки присутній надлишок водню, алкени не утворюються, а утворюється велика частка розгалужених алканів, циклоалканів і ароматичних сполук, які є важливими для приготування високоякісного «зеленого» бензину. Водень також зменшує тенденцію вуглеводнів до утворення тонкодисперсного вуглецю на поверхні каталізатора. Продукти реакції поділяють шляхом фракціонування.

Гідрокрекінг також використовується для крекінгу важких газойлів (які мають понад 20 атомів вуглецю в молекулі вуглеводню) на молекули з коротшим ланцюгом, подібні до молекул нафти, які потім можна піддати паровому крекінгу з утворенням алкенів.

Висновок до розділу 1

У даному розділі було розглянуто сполуку бутадієн 1.3 , досліджено його хімічні властивості та узагальнено шляхи використання. Проведено аналіз видобування бутадієну в промислових масштабах. Розглянули технологічний процес парового крекінгу, який використовується для створення бутадієну 1.3.

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСТРАКЦІОНОЇ КОЛОНИ, ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1. Розробка структурної схеми екстракційної колони

Вивчаючи системи керування, читач повинен мати можливість моделювати динамічні системи в математичних термінах і аналізувати їхні динамічні характеристики. Математична модель динамічної системи визначається як набір рівнянь, які представляють динаміку системи точно або принаймні досить добре. Зауважте, що математична модель не є унікальною для а дана система. Система може бути представлена різними способами і, отже, може мати багато математичних моделей, залежно від точки зору. Динаміка багатьох систем, будь то механічні, електричні, теплові, економічні, біологічні тощо можуть бути описані в термінах диференціальних рівнянь. Такі диференціальні рівняння можна отримати, використовуючи фізичні закони, що керують конкретною системою, наприклад, закони Ньютона для механічних систем і закони Кірхгофа для електричних систем. Ми завжди повинні пам'ятати, що отримання розумних математичних моделей є найважливішою частиною всього аналізу систем управління.

Математичні моделі можуть приймати різні форми залежно від конкретної системи та конкретних обставин одна математична модель може бути кращою, ніж інші моделі.

Математичне моделювання систем управління аналіз перехідної характеристики або частотної характеристики з одним входом, одним виходом, лінійним, інваріантних у часі систем, представлення функції передачі може бути більш зручним ніж будь-який інший. Після того як отримано математичну модель системи, різні аналітичні і комп'ютерні інструменти можна використовувати для цілей аналізу та синтезу.

Структурна діаграма - це інструмент розробки, який використовується для моделювання різних частин системи, від огляду того, як окремі частини

взаємодіють для створення цілого, до моделювання деталей самих найменших частин, таких як різні об'єкти та класи, що використовуються в програмування системи.

Структурна діаграма візуалізує, як працює система від початкового введення до обробки і, нарешті, до бажаного результату. Це особливо корисно для визначення всіх інтерфейсів, задіяних між різними частинами, і допомагає розробникам узгодити спосіб підключення кожної частини на основі моделей, показаних на структурній схемі. Існують різні види структурних діаграм, зокрема такі:

- Діаграма структури даних – концептуальна модель даних, яка використовується для документування сутностей у базі даних, їхніх зв'язків, а також пов'язаних із ними обмежень.

- Складена структурна діаграма – тип статичної структурної діаграми, яка показує внутрішню структуру класу та його взаємодію з іншими класами та об'єктами.

Структурні діаграми відображають статичну архітектуру системи, тобто її постійні складові, що визначають внутрішню організацію та взаємозв'язки між елементами. Ці стабільні компоненти представлені класами, інтерфейсами, об'єктами, компонентами та вузлами, які разом формують основу системи.

До основних видів структурних діаграм UML належать:

- Діаграма об'єктів.
- Діаграма класів.
- Діаграма компонентів.
- Діаграма розгортання.

Найбільш уживаною є діаграма класів, що забезпечує об'єктно-орієнтоване представлення системи у статичному вигляді. Вона містить класи, інтерфейси, зв'язки та відношення взаємодії між елементами, дозволяючи відобразити логічну структуру програмного забезпечення та принципи організації його основних модулів.

Активний клас використовується на діаграмі класів для представлення

паралельності системи.

Діаграма класів представляє об'єктну орієнтацію системи. Тому його зазвичай використовують для розробки. Це найбільш широко використовувана діаграма на момент побудови системи.

Діаграма об'єкта.

Діаграми об'єктів можна описати як екземпляр діаграми класів. Таким чином, ці діаграми більше наближені до сценаріїв реального життя, де ми впроваджуємо систему. Діаграми об'єктів - це набір об'єктів, і їхній зв'язок подібний до діаграм класів. Вони також представляють статичний вигляд системи. Використання діаграм об'єктів подібне до діаграм класів, але вони використовуються для створення прототипу системи з практичної точки зору.

Діаграма компонентів.

Компонентні діаграми представляють набір компонентів та їхні зв'язки. Ці компоненти складаються з класів, інтерфейсів або співробітництва. Діаграми компонентів представляють вигляд реалізації системи.

На етапі проектування артефакти програмного забезпечення (класи, інтерфейси тощо) системи впорядковуються в різні групи залежно від їх взаємозв'язку. Тепер ці групи відомі як компоненти.

Нарешті, можна сказати, що діаграми компонентів використовуються для візуалізації реалізації.

Схема розгортання.

Діаграми розгортання - це набір вузлів та їхніх зв'язків. Ці вузли є фізичними об'єктами, де розгортаються компоненти.

Діаграми розгортання використовуються для візуалізації вигляду розгортання системи. Це зазвичай використовується групою розгортання.

Якщо уважно спостерігати за наведеними вище описами та використаннями, стає зрозуміло, що всі діаграми мають певний зв'язок одна з одною. Діаграми компонентів залежать від класів, інтерфейсів тощо, які є частиною діаграми клас/об'єкт. Знову ж таки, діаграма розгортання залежить від компонентів, які використовуються для створення діаграм компонентів.

Для застосування оптимізації нашого процесу потрібно, перш за все визначити його математичну модель. Весь технологічний процес є надто громіздким, тому для дослідження та проведення експерименту ми оберемо один з основних елементів нашої системи, який є присутній у технологічному процесі з виділення бутадієну 1.3, та впливає на якість виходу продукції, а саме екстракційну колону. Провівши дослідження роботи екстрактора розробимо структурну схему ОК та опишемо її.

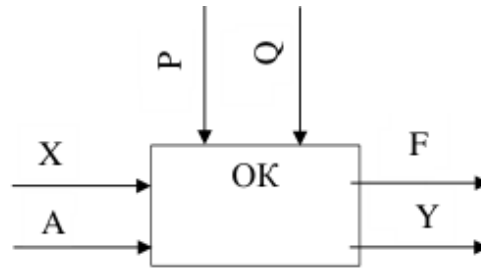


Рис. 2.1. Моделювання та опис структурної схеми ОК екстрактора: X – зміна температури в екстракційній колоні; Y – об’єм екстракту на виході системи; F – об’єм рафінаду на виході системи; P - регулятор, який діє на систему; Q - загальні збурення, що впливають на процес; A – об’єм розчину в колоні

З рисунку 2.1. можна побачити структурну схему, із використанням схеми об’єкта, а саме екстракційної колони.

2.2. Проведення експерименту математичного моделювання екстракційної колони

Для того ,щоб мати змогу провести експеримент потрібно спочатку визначити динамічні властивості ОР. Щоб знайти потрібні нам дані, необхідно взяти дані із кривої розгону ОК або зробити математичне моделювання ТП. Отже, проведем експеримент та отримаємо необхідні для нас дані.

Після проведення дослідження було отримано криву розгону, яку отримали під час досліджень та проведення експерименту для каналу, який є основним для нашого процесу.

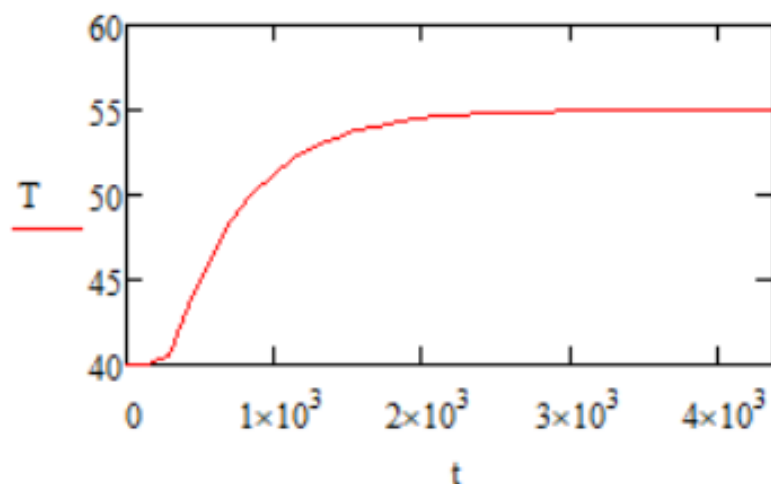


Рис. 2.2. Проведення експерименту по основному каналу

З вищенаведеного графіка кривої розгону ТП, можна визначити, що початковим значенням є $x_0=40.0154^\circ\text{C}$, а максимальним $x_{\text{max}}=54.9925^\circ\text{C}$.

Таблиця 2.1

Результати експерименту, які були проведенні по основному каналу

Температура, °C	Стрибкоподібний сигнал	Час, с
40.0154	0	0.0
40.0246	10.0011	141.0220
40.4580	10.0011	282.21021
43.6826	10.0011	423.0310
46.5044	10.0011	564.0243
50.0278	10.0011	846.0125
51.2476	10.0011	987.0138
52.1454	10.0011	1128.0124
52.8457	10.0011	1269.0246
53.3472	10.0011	1410.0345
53.7686	10.0011	1551.0111
54.0682	10.0011	1692.0344
54.2954	10.0011	1833.0146
54.4657	10.0011	1974.0134

Продовження таблиці 2.1

Температура, °C	Стрибкоподібний сигнал	Час, с
54.5987	10.0011	2115.0315
54.6975	10.0011	2256.0345
54.7569	10.0011	2397.0497
54.8126	10.0011	2538.0213
54.8698	10.0011	5679.0133
54.9020	10.0011	2820.0137
54.9255	10.0011	2961.0169
54.9443	10.0011	3102.0489
54.9587	10.0011	3243.0003
54.9673	10.0011	3384.0421
54.9725	10.0011	3525.0345
54.9181	10.0011	3666.0461
54.9856	10.0011	3807.0314
54.9889	10.0011	3948.0471
54.9972	10.0011	4089.0384
54.9594	10.0011	4237.0135
54.9925	10.0011	4371.0237

System Identification Toolbox™ надає функції MATLAB, блоки Simulink і додаток для динамічного моделювання системи, аналізу часових рядів і прогнозування. Ви можете вивчати динамічні зв'язки між вимірними змінними, щоб створювати функції передачі, моделі процесів і моделі простору станів у безперервному або дискретному часі, використовуючи дані в часовій або частотній області. Ви можете прогнозувати часові ряди за допомогою AR, ARMA та інших методів лінійного та нелінійного авторегресійного моделювання.

Набір інструментів дає змогу оцінювати динаміку нелінійної системи за допомогою моделей Хаммерштейна-Вінера та нелінійних моделей ARX із такими методами машинного навчання, як процеси Гауса (GP), машини опорних векторів (SVM) та інші представлення. Крім того, ви можете створювати моделі нейронних

звичайних диференціальних рівнянь (ODE) за допомогою глибокого навчання для фіксації динаміки нелінійної системи. Набір інструментів дозволяє виконувати ідентифікацію системи за допомогою сірого ящика для оцінки параметрів моделі, визначеної користувачем. Ви можете інтегрувати ідентифіковані моделі в Simulink для швидкого моделювання, щоб увімкнути проектування керування та діагностичні та прогностичні програми.

Ви можете виконувати онлайн-оцінку параметрів і станів, використовуючи розширені фільтри Калмана або фільтри Калмана без ароматизаторів і фільтри часток для адаптивного керування.

Дослідження передавальної функції проведемо в середовищі «Matlab», щоб провести дослід необхідно перенести дані зняті з кривої розгону для основного каналу в нашій системі.

Зайдем на робочий простір «Matlab» та введемо команду `<<ident`, перед нами відкриється панель інструментів ідентифікації. Отож, розпочнемо суть нашого експерименту полягує в тому, щоб створити систему та дослідити її на кількість похибок змінюючи поряде функції після даної операції ми зможемо записати найкращий результат, який буде представляти нашу передавальну функцію у подальшій роботі.

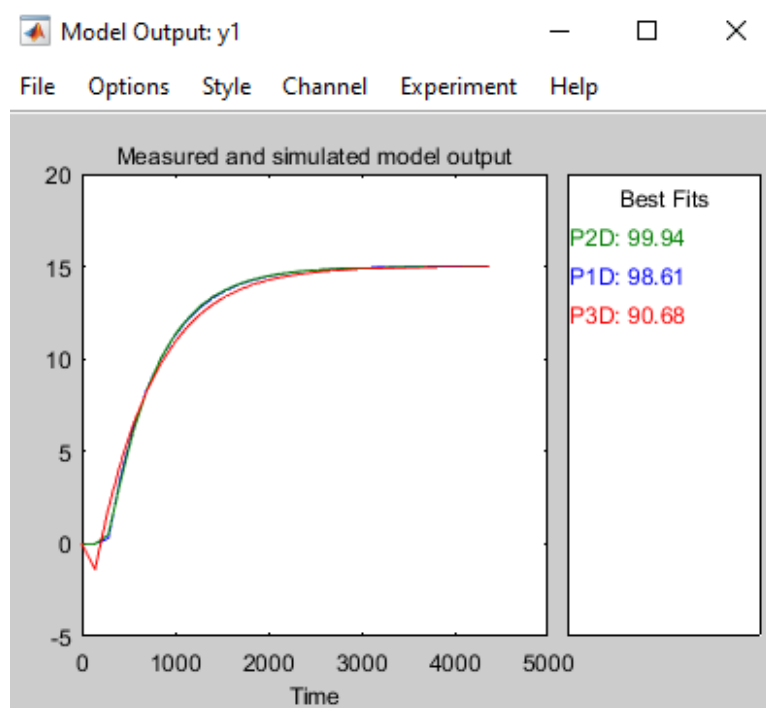


Рис. 2.3. Модель передавальної функції із різними порядками

Дивлячись на модель, що зображена на рисунку 2.3 можна зрозуміти, яка функція при дослідженні має найменша похибка. Вибираємо криву під назвою “P2D”, адже в неї найменша кількість похибок 99.94%, для того щоб записати передавальну функцію, нам потрібно повернутись до панелі інструментів ідентифікації та вибрати графік “P2D”.

```

Process model with transfer function:
      Kp
G(s) = ----- * exp(-Td*s)
      (1+Tp1*s)(1+Tp2*s)

      Kp = 1.4999
      Tp1 = 504.12
      Tp2 = 53.65
      Td = 91.932

Name: P2D
Parameterization:
  'P2D'
Number of free coefficients: 4
Use "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

```

Рис. 2.4. Інформація по функції основного каналу

Каскадні системи керування характеризуються наявністю двох взаємопов'язаних контурів регулювання - основного та допоміжного, кожен із яких має власну передавальну функцію. У такій структурі вихід основного регулятора слугує входним сигналом (завданням) для допоміжного. Важливою умовою ефективної роботи каскадної системи є те, що інерційність допоміжної змінної повинна бути значно меншою, ніж інерційність головної регульованої змінної (X).

За таких умов допоміжна змінна (X_1) здатна оперативно реагувати на високочастотні внутрішні збурення, компенсуючи їх дію, тоді як зовнішній контур забезпечує реакцію на низькочастотні зовнішні збурення, насамперед пов'язані зі зміною навантаження об'єкта.

Типовим прикладом реалізації каскадної системи є паралельна робота кількох котлоагрегатів, підключених до спільного парового колектора. У цьому випадку кількість внутрішніх контурів відповідає числу агрегатів, а основний регулятор виконує функцію задатчика для кожного з них, забезпечуючи узгоджену зміну режимів роботи системи.

Існує кілька методичних підходів до проектування та розрахунку каскадних систем керування. У разі, коли інерційність внутрішнього контуру значно менша, ніж інерційність основного, налаштування регуляторів обох контурів можна виконувати незалежно. У такій структурі перехідні процеси у внутрішньому контурі завершуються ще до появи нового збурення у зовнішньому, що забезпечує стабільність і передбачуваність динаміки системи.

Закони регулювання добираються з урахуванням необхідності уникнення надмірного астатизму, а також досягнення заданих показників точності та швидкодії. Для внутрішнього (допоміжного) контуру зазвичай застосовують П- або ПД-регулятори, тоді як у зовнішньому (основному) контурі доцільно використовувати **ПІ- або ПІД-регулятори.

Каскадні системи керування набули широкого застосування у теплотехнічних установках, зокрема в автоматизації котлоагрегатів. Наприклад, регулятор тиску пари може формувати завдання для регулятора тепловиділення, який оперативно реагує на зміни витрати палива, забезпечуючи стабільність параметрів процесу.

Для підвищення швидкодії та покращення якості перехідних процесів іноді впроваджують додатковий сигнал з проміжної точки системи, що дозволяє ефективніше компенсувати збурення та оптимізувати реакцію регуляторів.

Додатковий сигнал, сформований за похідною, не спричиняє появи статичної похибки та впливає на змінну (X_1) у момент, коли вона починає змінюватися раніше, ніж основна координата (X). У таких системах частково компенсується запізнення в каналі керування, що є небажаним явищем, оскільки воно знижує ефективність компенсації збурень.

Варто зазначити, що допоміжний сигнал не залежить від абсолютного значення змінної (X_1); він активується лише під час перехідних процесів і в усталеному режимі набуває нульового значення.

Розрахунок систем із проміжним сигналом зводиться до визначення оптимальних параметрів регулятора та елемента диференціювання, що забезпечують необхідну швидкодію й стабільність системи.

Під час проведення експериментів наведених вище нам вдалось записати результат, який ми будемо використовувати надалі в якості передавальної функції.

В даній роботі ми будемо моделювати різні системи: одноконтурно та багатоконтурно. Для роботи із дослідженнями нам необхідно записати коефіцієнт підсилення допоміжного каналу та обрати передавальну функцію:

Для цього ми скористаємось формулою 2.1.

Розрахуємо вхідні дані для додаткового контуру:

$$(T3 + T4) < 0.5 \cdot (T1 + T2) \quad (2.1)$$

Де змінні $T1$ і $T2$ є константатами часу.

Тепер проведемо розрахунок по основному контуру нашої системи:

$$T_{p1} = 504.12;$$

$$T_{p2} = 53.65.$$

Тепер підставимо значення:

$$0.5 \cdot (504.12 + 53.65) = 278.88.$$

Наступним кроком проведемо розрахунок для додаткового контуру.

$$T3 = 115.85;$$

$$T4 = 12.5.$$

Вирахуємо коефіцієнт підсилення додаткового каналу:

$$0.5 \cdot KP; \quad (2.2)$$

$$K_{P_{доп}} = 0.5 \cdot 1.49;$$

$$K_{P_{доп1}} = 0.74.$$

Значення другого коефіцієнта підсилення потрібно підібрати так, щоб воно було більшим за перший:

$$K_{P_{доп2}} = 2.$$

Результатом проведених обчислень є функція для допоміжного каналу.

$$W(p) = (0.74 / (115.85 + 1)) + (2 + (12.5 + 1))$$

Передавальна характеристика для допоміжного каналу (2.3).

Передавальна функція представляє співвідношення між вихідним сигналом системи керування та вхідним сигналом для всіх можливих вхідних значень. Блок-схема - це візуалізація системи керування, яка використовує блоки для

представлення функції передачі та стрілки, які представляють різні вхідні та вихідні сигнали.

Для будь-якої системи керування існує еталонний вхід, відомий як збудження або причина, який працює через операцію передачі (тобто передатну функцію), щоб створити ефект, що призводить до контрольованого виходу або реакції.

Таким чином причинно-наслідковий зв'язок між виходом і входом пов'язаний один з одним через функцію передачі.

Висновок до розділу 2

У даному розділі було розглянуто процес створення математичної моделі та розробки структурної схеми. Проведено експеримент для зняття даних із кривої розгону. Створено структурну схему екстракційної колони та виконано її опис. Використання панелі інструментів ідентифікації для знаходження функції із найменшою кількістю похибок. Обчислення даних для додаткової контуру.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ОДНОКОНТУРНОЇ ТА БАГАТОКОНТУРНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕКСТРАКЦІОНОЇ КОЛОНИ

3.1. Проведення аналізу типу регуляторів

Контроль технологічних процесів є ключовою передумовою створення безпечних, стабільних і високопродуктивних установок. Для реалізації керування використовуються різні технічні засоби, однак одним із найпоширеніших і водночас ефективних є ПД-регулятор.

Принцип його роботи полягає у мінімізації відхилення між вимірним значенням контрольованого параметра та заданою уставкою. Регулятор безперервно обчислює похибку й формує коригувальну дію, спрямовану на компенсацію цього відхилення. ПД-регулятор виконує керування на основі трьох складових:

- пропорційної (P) - забезпечує реакцію на поточну величину похибки;
- інтегральної (I) - усуває систематичну статичну похибку;
- похідної (D) - враховує швидкість зміни похибки для запобігання перерегулюванню.

Завдяки можливості гнучкого налаштування вагових коефіцієнтів цих складових ПД-регулятори дозволяють точно адаптувати систему до конкретних динамічних характеристик об'єкта.

У порівнянні з простими дво позиційними (on/off) контролерами, ПД-регулятори забезпечують більш плавне, стабільне та точне керування. Водночас двопозиційні системи мають свої переваги - вони простіші у проєктуванні та реалізації, а також можуть бути економічнішими та надійнішими завдяки використанню простих бінарних датчиків і виконавчих механізмів.

Незважаючи на певні переваги, використання схеми контролера вмикання/вимкнення має значні недоліки. Вони неефективні (використання цього елемента керування подібне до їзди з повним газом і повними перервами), можуть

створювати шум під час пошуку стабільності (можуть різко перевищувати або занижувати встановлене значення) і фізично зношують клапани і перемикачі (безперервне повне вмикання та повне вимикання клапанів/перемикачів призводить до їхнього зношування у набагато швидшому проміжку часу).

Для забезпечення високої точності регулювання та гнучкого налаштування параметрів у більшості промислових систем управління застосовується схема ПД-регулятора, яка стала стандартом для сучасної автоматизації технологічних процесів. У цьому розділі подано узагальнений огляд принципів побудови та функціонування ПД-регуляторів.

Коефіцієнт підсилення процесу (К) визначається як співвідношення зміни вихідної величини до зміни вхідного сигналу (збурення чи керуючого впливу). Цей параметр відображає ступінь чутливості вихідної змінної до змін у вхідному сигналі й характеризує реакцію об'єкта керування на зовнішній або внутрішній вплив. Іншими словами, коефіцієнт К є мірою динамічної чутливості системи, що відіграє ключову роль у налаштуванні параметрів регулятора.

$$K = \Delta V_{\text{вихід}} / \Delta V_{\text{вхід}}$$

Коефіцієнт підсилення характеризує лише стаціонарні властивості системи й не відображає її динамічної поведінки, оскільки не враховує вплив конструктивних або експлуатаційних параметрів. Його опис ґрунтується на трьох складових - знаку, числовому значенні та одиницях вимірювання. Знак визначає напрям реакції вихідного сигналу відносно зміни вхідної величини: позитивний знак свідчить про пряму залежність, коли збільшення вхідного сигналу спричиняє зростання вихідного, тоді як негативний - про обернений вплив, за якого вихідна змінна зменшується. Одиниці вимірювання коефіцієнта залежать від фізичної природи об'єкта керування та типу змінних, що аналізуються.

Параметр мертвого часу (затримки) визначає інтервал між моментом зміни вхідного сигналу та початком реакції вихідного сигналу. Цей часовий проміжок має важливе значення для оцінювання керованості об'єкта**, оскільки його наявність обмежує швидкість реагування системи. Саме тому мертвий час необхідно враховувати під час моделювання, ідентифікації та налаштування

регуляторів, адже він суттєво впливає на стійкість і точність системи автоматичного керування.

Різні типи систем керування, що базуються на принципі компенсації помилки, розрізняються за математичними методами перетворення відхилення між заданим і фактичним значенням у керуючий сигнал, який впливає на об'єкт. Найбільш поширеними з них є ПД-регулятори, які завдяки своїй універсальності забезпечують ефективне керування більшістю технологічних процесів.

Перш ніж розглядати принципи дії пропорційної (P), інтегральної (I) та диференціальної (D) складових, необхідно чітко усвідомити відмінності між системами прямого (feedforward) і зворотного (feedback) зв'язку.

Як уже зазначалося, контролери класифікуються за типом залежності між вхідним сигналом (помилкою) та вихідним сигналом (керуючою дією). Найпоширенішими є пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПД) регулятори, у яких сигнал керування формується на основі пропорційної, інтегральної або диференціальної обробки помилки - або ж комбінованого впливу цих трьох компонент, що забезпечує оптимальний баланс між швидкодією, точністю та стійкістю системи.

3.2. Створення моделі одноконтурної системи та пошук регулятора для оптимізації процесу

Отож, змоделюємо одноконтурну систему в програмному пакеті від «Matlab», а саме Simulink. Вона є досить зручною в роботі, адже можна легко завантажити дані, побудувати необхідну схему, просвести різні дослідження та здійснити симуляцію системи. Для моделі використаємо такі step, який подає стрибкоподібний сигнал, суматор, щоб в нашій системі відбувався зворотній зв'язок далі сигнал буде надходити до регулятора, наступним блоком буде subsystem в якому ми записали нашу передавальну характеристику із запізненням вміст блоку можна подитись на рисунку 3.2. Останім в нашій системі є блок Scope на якому ми будемо отримувати наш результат після регулювання ситеми, та

проводити дослідження над покращенням нашої системи.

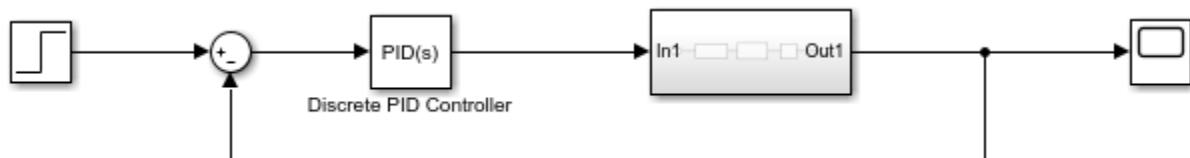


Рис. 3.1. Розроблена модель для одноконтурної системи

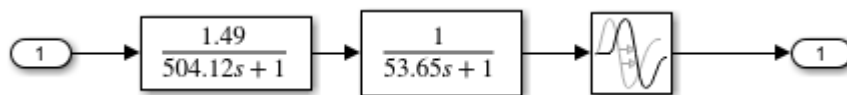


Рис. 3.2. Блок subsystem та його вміст

Розпочнемо наші дослідження будемо тестувати по черзі різні типи регулюючих органів та пробувати покращити їх. В кінці дослідження оберемо регулятор, який буде показувати найкращі якісні характеристики. Вставимо пропорційний регулятор в нашу модель та зробим знімок результату.

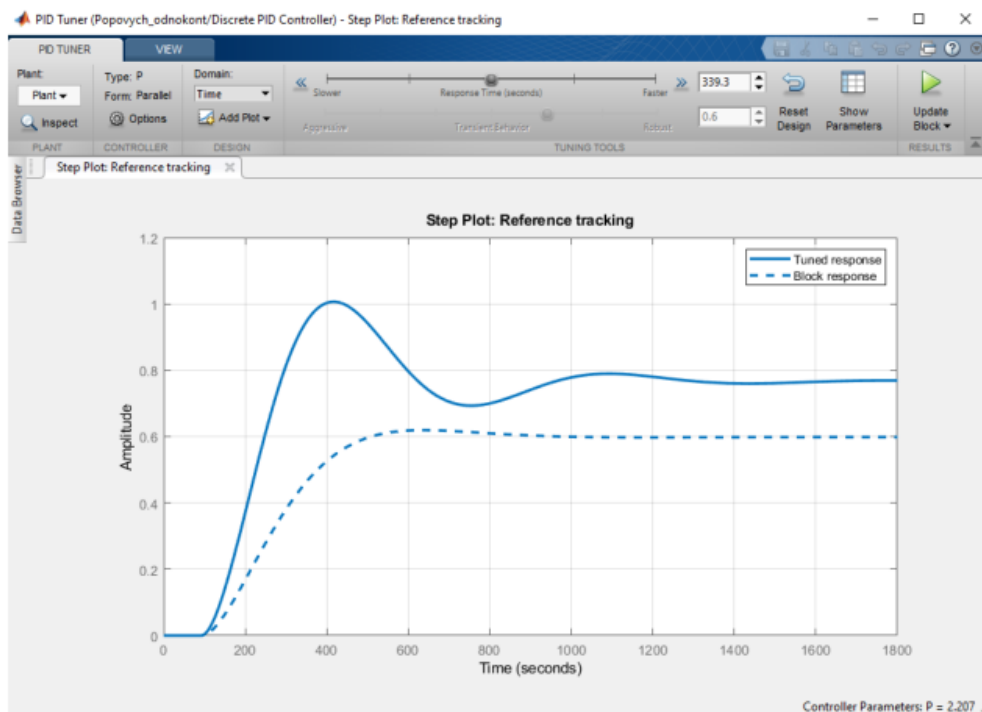


Рис. 3.3. Результат системи з використанням П – регулятора на виході

З рисунку 3.3. видно, що регулювання нашої системи може бути краще.

Зробим заміну пропорційного на ПД – регулятор, та подивимось на результат.

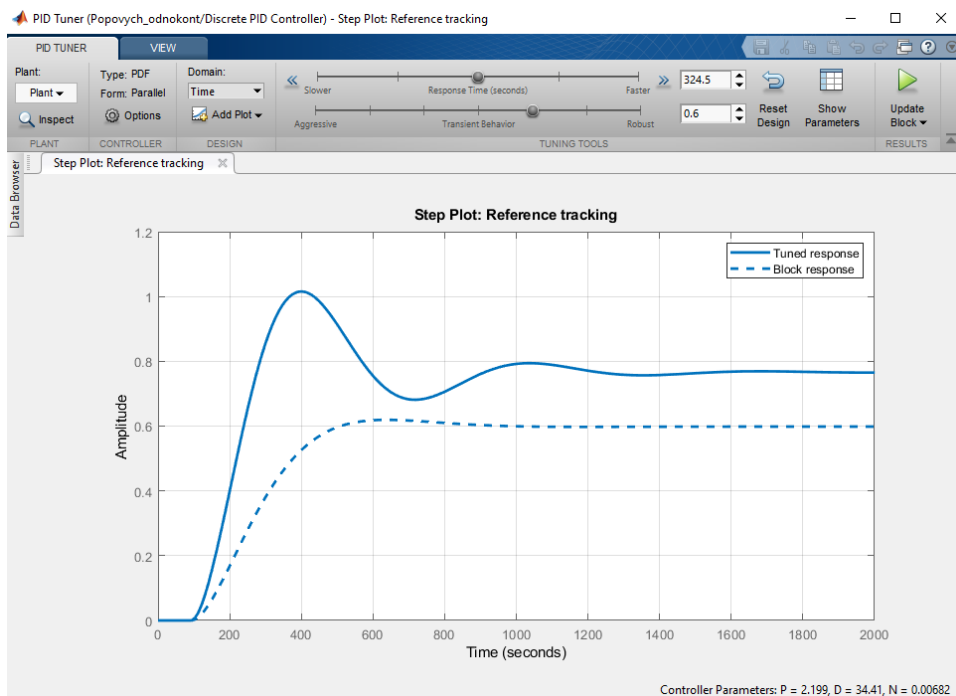


Рис. 3.4. Результат ПД регулятора

Провівши дослідження можна зробити висновок, що П та ПД регулятор, не є досить ефективним у нашій моделі. Отож, продовжуємо наш дослід та змінімо ПД на І регулятор.

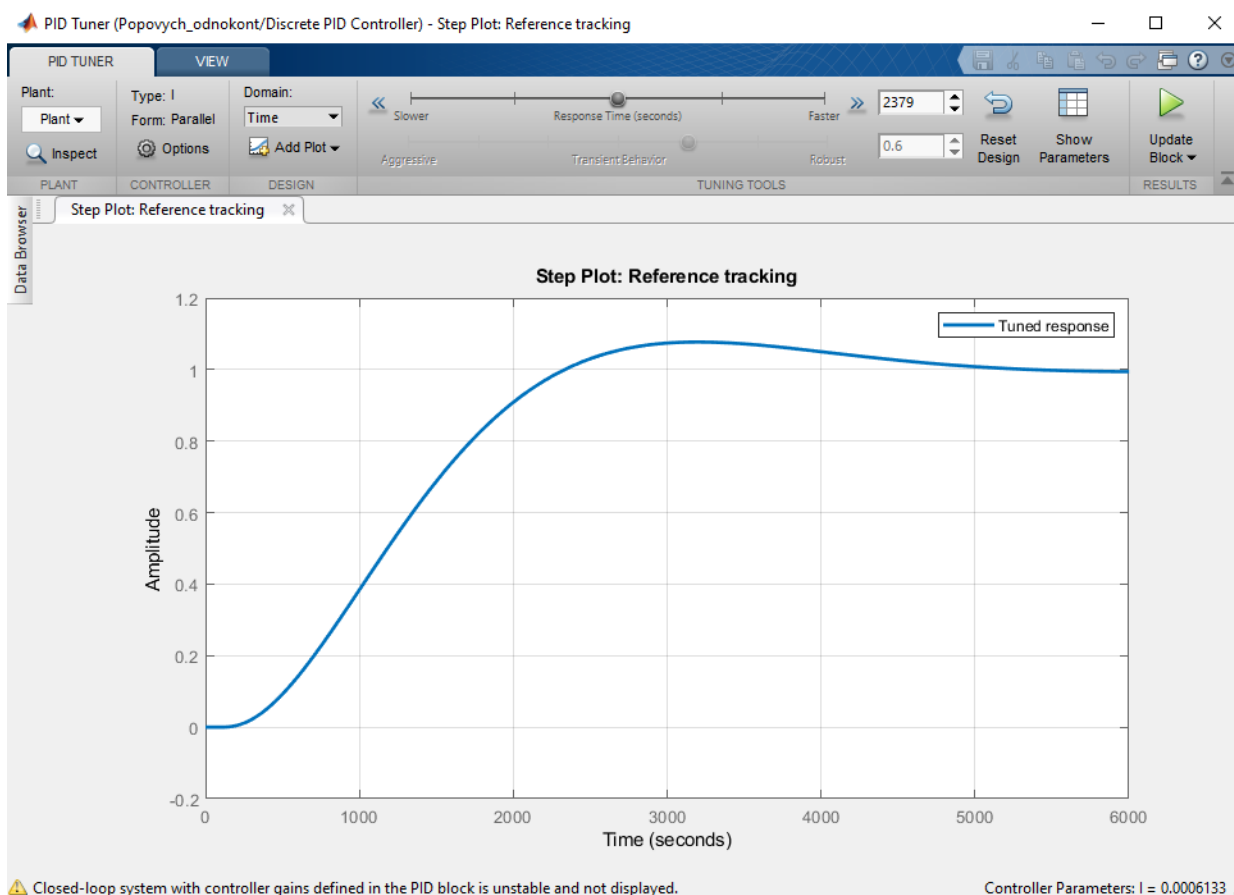


Рис. 3.5. Результат І регулятора на виході

З рисунку 3.5 бачимо, що даний регулятор може підійти для нас запишемо якого якісні показники та перейдемо до наступного.

Таблиця 3.1

Параметри І регулятора

Параметр	Дані
Час перехідного процесу	5100.004 с
Час досягнення першого максимуму	3100.021 с
Час розгону	2400.039 с

Виконаємо обчислення для знаходження перерегулювання

$$\Delta = ((1.095 - 1) / 1) \cdot 100\% = 9.5\%$$

Замінімо І на ПІД регулятор в одноконтурній системі та подивимось на зміни.

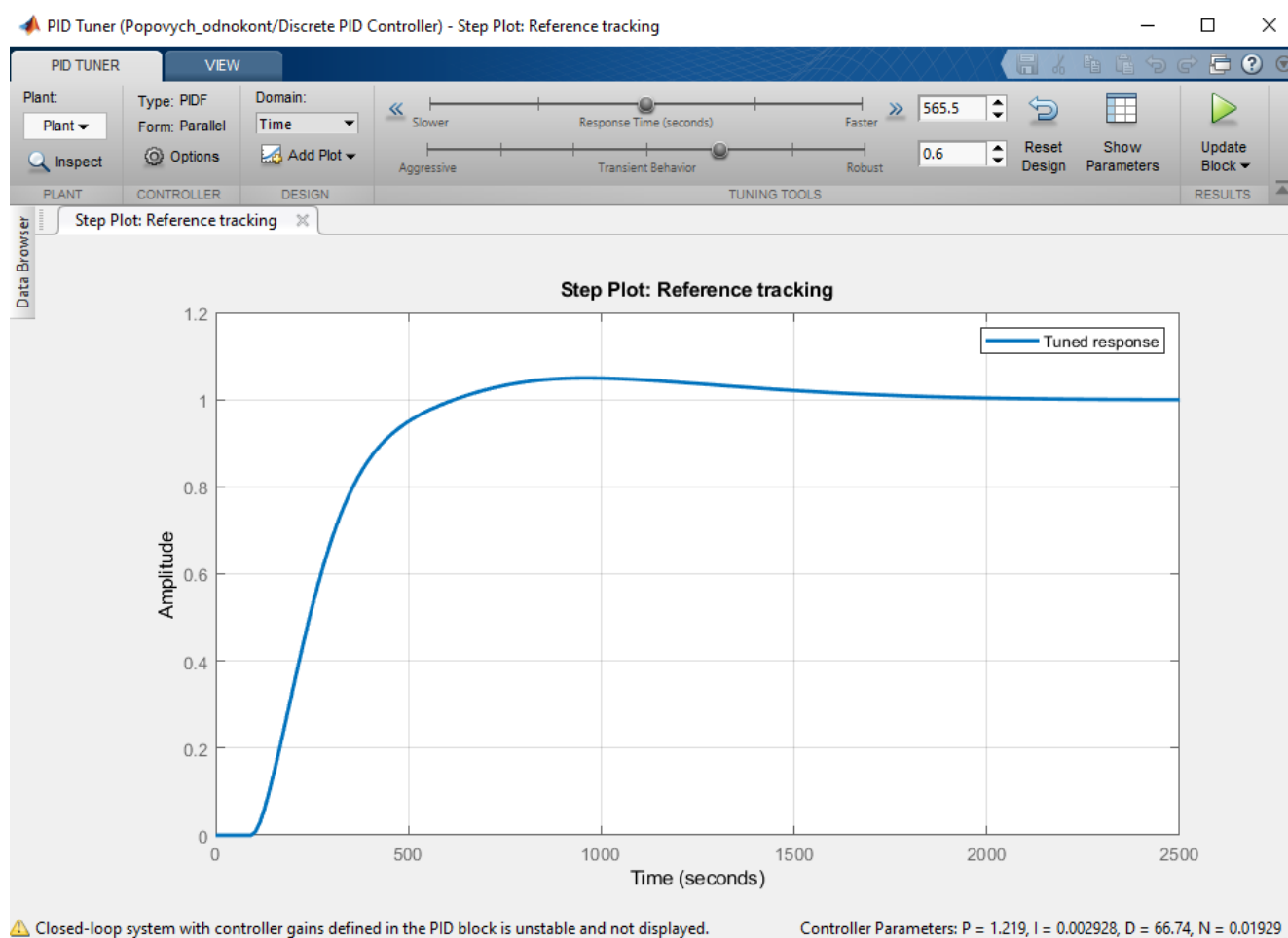


Рис. 3.6. Результат ПІД регулятора на виході

Таблиця 3.2

Параметри ПД регулятора

Параметр	Дані
Час перехідного процесу	2100.003с
Час досягнення першого максимуму	925.021 с
Час розгону	650.034 с

Виконаємо обчислення для знаходження перерегулювання:

$$\Delta = ((1.08 - 1) / 1) \cdot 100\% = 8\%$$

Виконаємо заміну ПД на ПІ регулятор та запишемо якісні показники до таблиці.

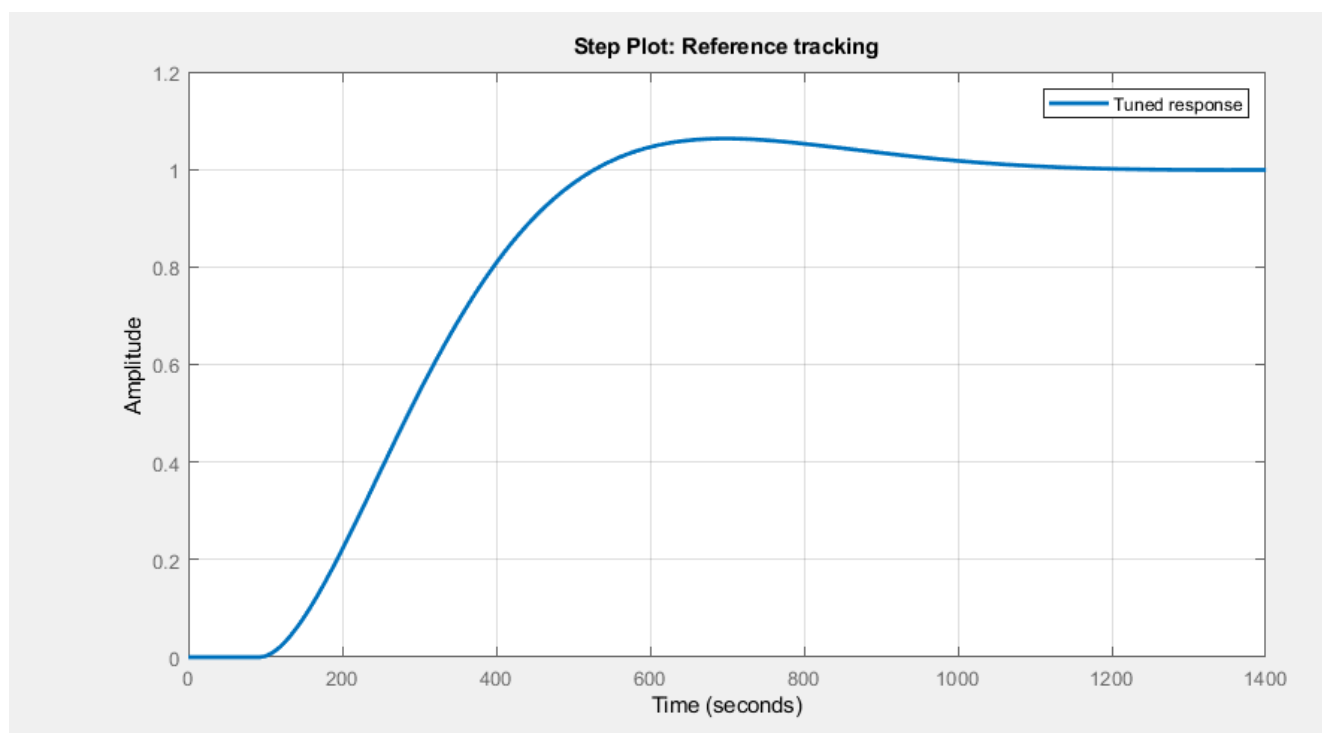


Рис. 3.7. Результат ПІ регулятора на виході

Таблиця 3.3

Параметри ПІ регулятора

Параметр	Дані
Час перехідного процесу	1130.047 с
Час досягнення першого максимуму	630.029 с
Час розгону	530.011 с

Виконаєм розрахунок для перерегулювання:

$$\Delta = ((1.06 - 1) / 1) \cdot 100\% = 6\%$$

З проведених експериментів можемо зробити висновок, що при автоматичному регулюванні найкращі показники показує ПІ – регулятор. Спробуєм добитись ще кращого результату скориставшись ручним налаштування.

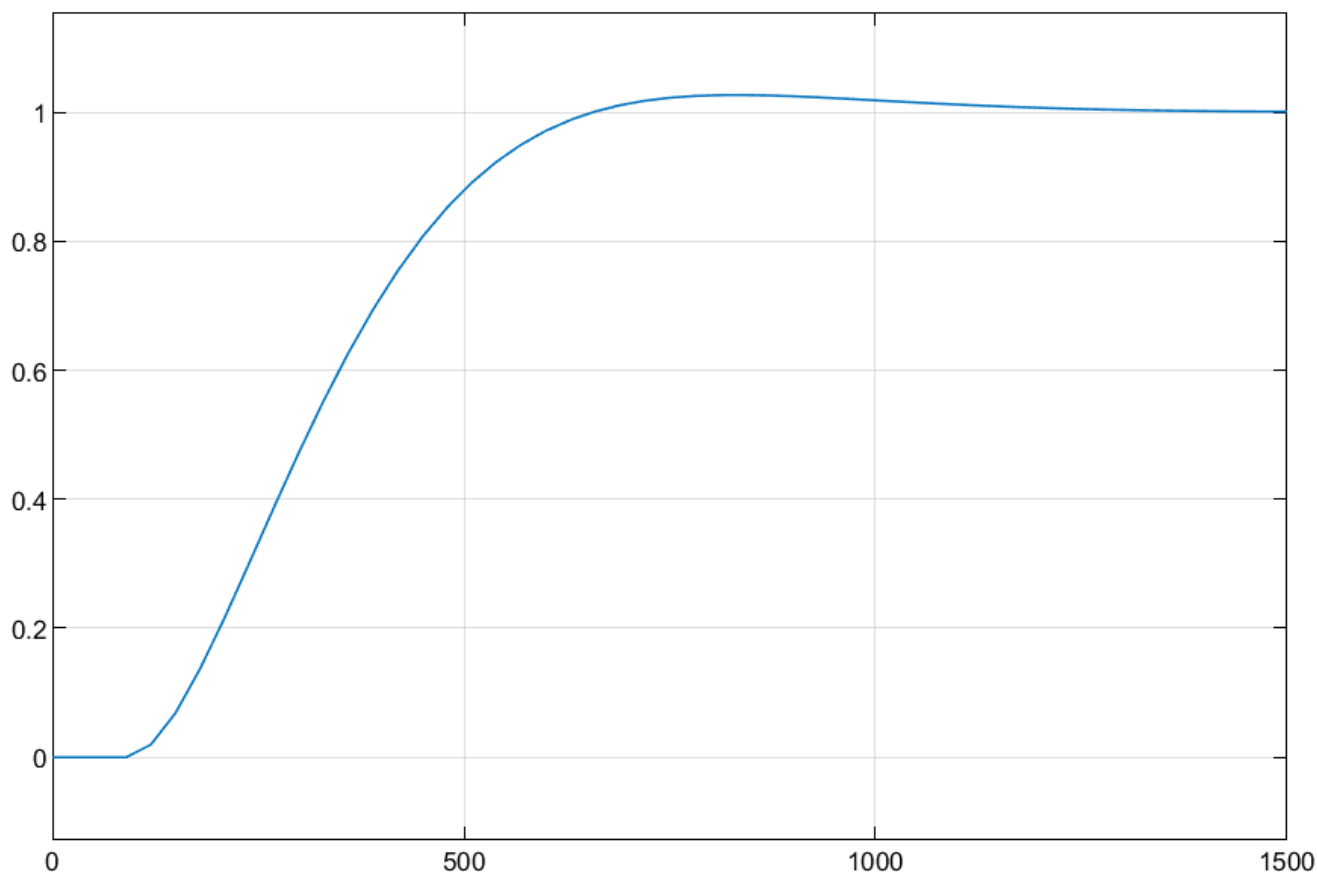


Рис. 3.8. Графік системи після ручного налаштування ПІ – регулятора

Таблиця 3.4

Параметри ПІ регулятора

Параметр	Дані
Час перехідного процесу	1240.027 с
Час досягнення першого максимуму	780.049 с
Час розгону	660.031 с

Виконаєм обрахунок для знаходження перерегулювання:

$$\Delta = ((1.03 - 1) / 1) \cdot 100\% = 3\%$$

Запишемо параметри ручного налаштування ПІ –регулятора в таблиці.

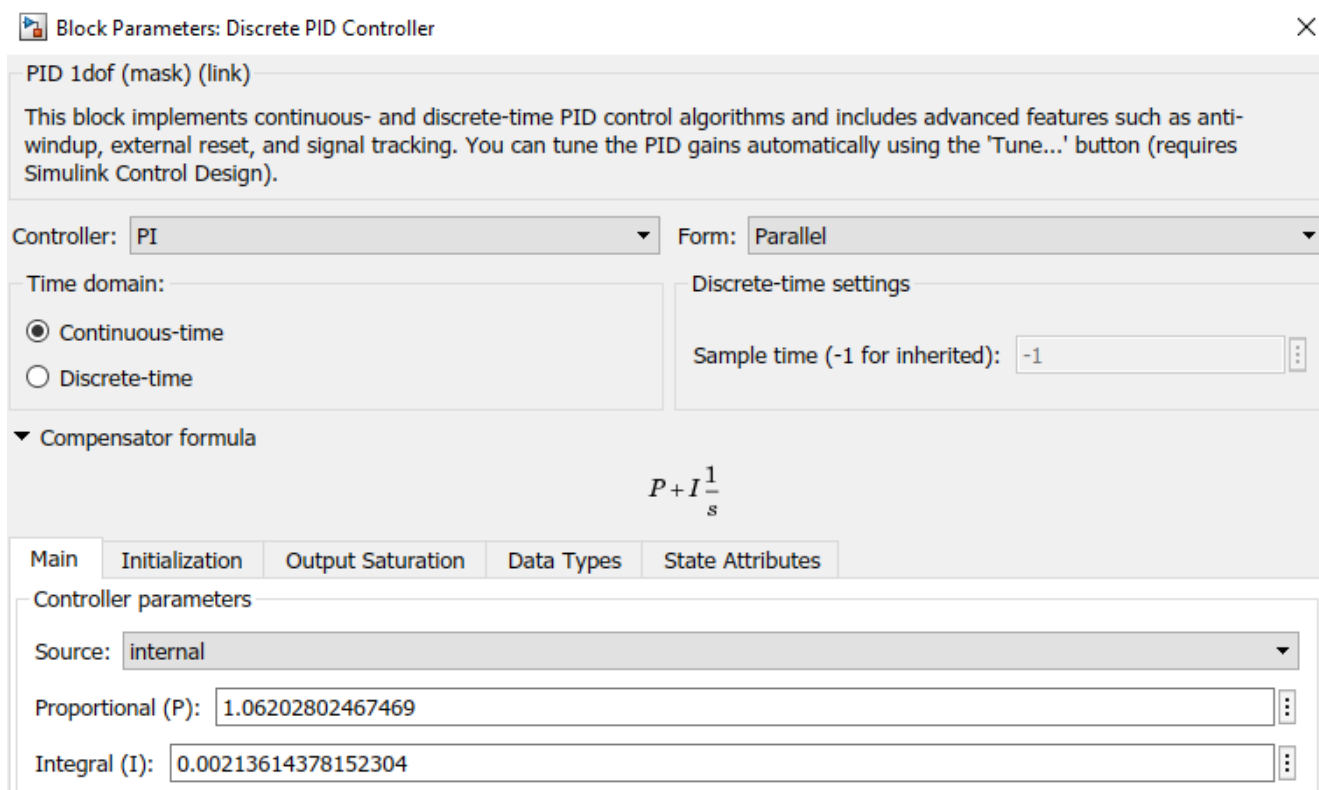


Рис. 3.9. Ручне налаштування

Виконавши тонке налаштування, я зміг вдосконалити нашу систему

$$P = I \cdot (1/s)$$

Формула загального вигляду для ПІ-регулятора (3.1)

Підставимо значення у вищенаведену формулу та виконаєм розрахунки.

$$W(p) = 06202 (0.00213/p) \quad (3.2)$$

Таблиця 3.5

Порівняння результатів досліджень про регулятори

Назва регулятора	Параметри	
	Час перехідного процесу	Перерегулювання
Після ручного регулювання		
ПІ (K _p =1.06202, K _i =0.002136)	1240.027	3%
Після автоматичного регулювання		
I (K _i =1)	5100.004	9.5%
ПІД (K _p =0, K _i =0, K _d = 1)	2100.003	8%
ПІ (K _p =1, K _i =1)	1130.047	6%

Аналізуючи таблицю 3.5, можна зробити висновок, що для нашої моделі одноконтурної системи, найкраща підходить ПІ- регулятор з ручним налаштуванням. Час перехідного процес в нього є найменший та показник перерегулювання є оптимальний, що робить нашу систему більш стійкішою.

3.3. Дослідження стійкості одноконтурної системи

Здатність системи автоматичного керування забезпечувати коректне функціонування та компенсувати вплив невідворотних зовнішніх і внутрішніх збурень визначається її стійкістю. Система вважається стабільною, якщо відхилення її стану залишаються малими за умови незначних змін вхідних сигналів. Для різних типів систем автоматичного керування застосовуються специфічні методи оцінювання стійкості.

Фундаментальні основи строгого математичного аналізу стійкості динамічних систем, описуваних звичайними диференціальними рівняннями, були закладені А. М. Ляпуновим у 1892 році, що стало базою сучасної теорії стійкості.

Усі стани лінійної системи автоматичного керування (АСУ) можна віднести до стійких або нестійких, що дозволяє оцінювати загальну стійкість системи. Для стаціонарної лінійної АСУ, описуваної звичайними диференціальними рівняннями, необхідною та достатньою умовою асимптотичної стійкості є те, щоб усі корені її характеристичного рівняння мали від'ємні дійсні частини.

Існують спеціальні критерії, що дозволяють визначити знаки коренів характеристичного рівняння безпосередньо за його коефіцієнтами, без потреби фактичного розв'язання рівняння. До найбільш поширених належать критерій Рауса (названий на честь британського математика Е. Рауса) та критерій Гурвіца (на честь німецького математика А. Гурвіца), які застосовуються для аналізу стійкості систем, що описуються диференціальними рівняннями до четвертого порядку.

Однак у багатьох випадках неможливо скористатися цими критеріями (наприклад, у випадку систем, що описуються рівняннями вищого порядку), через

необхідність виконання величезних обчислень; крім того, знаходження самих характеристичних рівнянь для складних систем вимагає трудомістких математичних операцій. Однак частотні характеристики всіх як завгодно складних систем автоматичного керування можна легко визначити за допомогою простих графічних і алгебраїчних операцій. Отже, критерій Найквіста (на ім'я американського фізика Г. Найквіста) і критерій Михайлова (на честь радянського фахівця з автоматичного управління А. В. Михайлова) зазвичай використовують при аналізі і проектуванні лінійних стаціонарних систем автоматичного керування. Особливо зручним для практичного застосування є критерій Найквіста, який широко використовується для аналізу стійкості систем автоматичного керування (АСУ).

Під областю стійкості розуміють сукупність значень параметрів системи, при яких вона залишається стійкою. Близькість системи до межі цієї області оцінюють за допомогою запасів стабільності по фазі та підсиленні, які визначаються з частотних характеристик розімкненої системи, відображаючи, наскільки система здатна витримувати зміни параметрів без втрати стійкості. Сучасна теорія лінійних систем автоматичного керування надає методи аналізу стійкості систем із зосередженими і розподіленими параметрами, систем з неперервними і дискретними даними, а також стаціонарних і нестаціонарних систем.

Проблема стійкості для нелінійних систем автоматичного керування включає кілька важливих характеристик, які відрізняються від характеристик лінійних систем. У нелінійних системах стійкість може відрізнитися для різних станів: одні з них залишаються стійкими, тоді як інші - нестійкими. Тому в теорії стійкості розглядають стійкість конкретного стану, а не всієї системи загалом. Стійкість певного стану зберігається лише при достатньо малих збуреннях, тоді як великі впливи можуть її порушити. Це призводить до введення різних видів стійкості: локальна стійкість (стабільність у малому), кінцева стійкість та глобальна стійкість (стабільність у великому).

Особливе значення має поняття абсолютної стійкості, що передбачає стійкість системи при будь-яких початкових збуреннях у межах заданого класу

нелінійностей. Аналіз стійкості нелінійних систем є доволі складним завданням, навіть із використанням сучасних обчислювальних засобів. Для визначення достатніх умов стійкості широко застосовують функції Ляпунова. Також існують критерії абсолютної стійкості, розроблені румунським математиком В.-М. Поповим та його співробітниками.

Окрім точних методів, для аналізу стійкості можуть використовуватися наближені підходи, засновані на описових функціях, зокрема гармонійна та статистична лінеаризація, що дозволяють оцінити поведінку нелінійної системи у практичних задачах.

За допомогою теорії стійкості стохастичних систем досліджується стійкість системи автоматичного керування, що піддається випадковим збуренням і перешкодам.

Сучасна обчислювальна техніка дозволяє вирішувати багато задач стійкості лінійних і нелінійних систем різного типу як за допомогою звичних алгоритмів, так і за допомогою нових, спеціальних алгоритмів, які залежать від можливостей сучасних комп'ютерних систем.

Виконаємо дослідження перевірки на стійкість одноконтурної системи з ПІ-регулятором. Будемо використовувати програмний пакет «Matlab» для того щоб було зручно ним користуватись зробимо перетворення передавальної характеристики до еквівалентної.

$$W_{\text{роз}}(p) = (W_p(p) \cdot W_0(p)) / (1 + W_p(p) \cdot W_0(p)) \quad (3.3)$$

Перед тим, як внести дані до робочого простору перемножимо наш знаменник для легшого запису.

$$W_0(p) = 1.49 / (2704p^2 + 504.12 + 1) \text{ – результат обчислень} \quad (3.4)$$

Зайдемо в робочий простір Matlab та запишемо код, для виконання обчислення еквівалентної функції.

```

>> s=tf('s');
w0=tf([1.49],[27046 557.7 1]);
wp=tf([1.06203 0.06203],[1]);

wroz=((wp)*(w0))/(1+(w0)*(wp))

wroz =

          4.28e04 s^3 + 3382 s^2 + 53.13 s + 0.09242
-----
7.315e08 s^4 + 3.021e07 s^3 + 3.685e05 s^2 + 1169 s + 1.092

Continuous-time transfer function.

```

Рис. 3.10 Результат обчислень

Знайдену відповідь перенесем на work space для подальшого дослідження.

Критерій стійкості Найквіста.

Для того, щоб впевнитись, що наша система стабільна виконаємо перевірку.

Для цього буде використано критерій Найквіста.

```

>> w=tf([4.28e04 3382 53.13 0.09242],[7.315e08 3.021e07 3.685e05 1169 1.092],'OutputDelay',91.9)
nyquist(w)

```

Рис. 3.11. Код програми виклику критерія Найквіста

Після внесення даних та виклику команди ми отримуємо фазо-частотну характеристику.

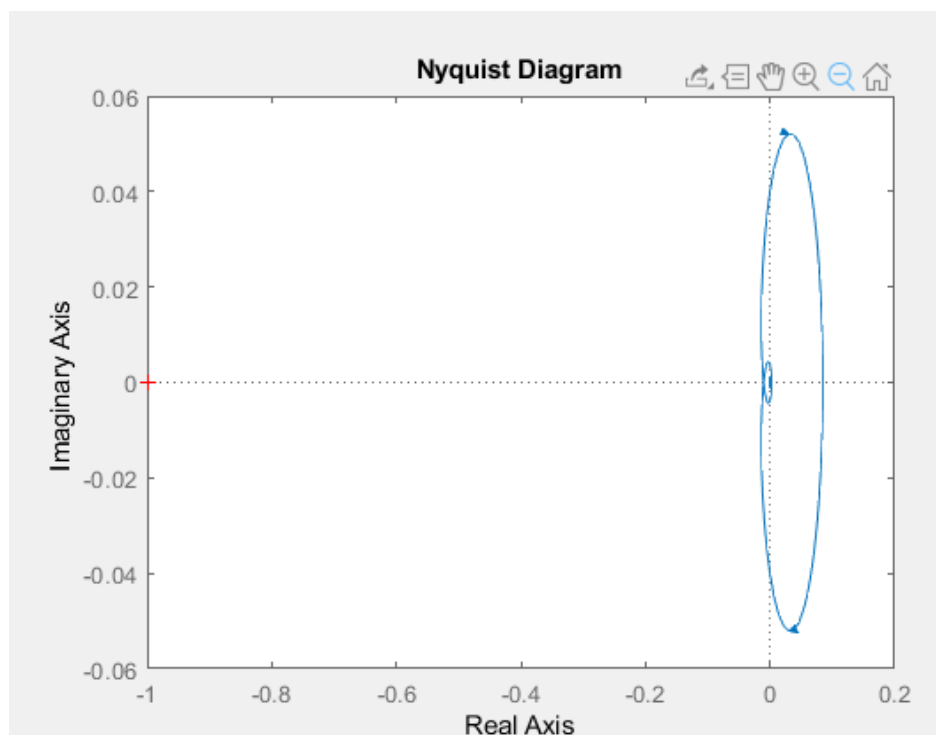


Рис. 3.12. Отримана діаграма

Дивлячись на отриману діаграму можна сказати, що наша одноконтурна система не охоплює точку з координатами $(-1; j0)$, роблячи висновки можна сказати, що вона є стійкою.

3.4. Розробка нечіткого регулятора для одноконтурної САК

Fuzzy Logic Toolbox™ надає функції, програми MATLAB® і блок Simulink® для аналізу, проектування та моделювання систем нечіткої логіки. Продукт дозволяє вказувати та налаштовувати входи, виходи, функції належності та правила систем нечіткого висновку типу 1 і 2.

Набір засобів дає змогу самостійно визначати параметри розподілу і правила в системі нечіткої логіки, спираючись на обробку фактичних даних. Ви можете оцінити розроблені системи нечіткої логіки в MATLAB і Simulink. Крім того, ви можете використовувати систему нечіткого висновку як систему підтримки для пояснення моделей чорної скриньки на основі штучного інтелекту (AI). Ви можете генерувати автономні виконувані файли або код C/C++ і структурований текст IEC 61131-3 для оцінки та реалізації систем нечіткої логіки. Програмне забезпечення Fuzzy Logic Toolbox™ підтримує два типи систем нечіткого висновку:

- Системи Мамдані.
- Системи Сугено.

Системи логічного виведення за принципом Мамдані були розроблені як підхід до побудови керуючих систем через формування набору лінгвістичних правил, що базуються на досвіді та знаннях операторів-експертів. У таких системах результатом виконання кожного правила є нечітке відображення, що описує можливі варіанти поведінки керованої змінної.

Завдяки своїй інтуїтивній структурі та зрозумілій формі правил, підходи Мамдані широко застосовуються в експертних системах, де керування або оцінка приймаються на основі людського досвіду, наприклад у медичній діагностиці.

Для отримання вихідного сигналу кожне правило генерує нечітку множину на основі функції належності та механізму імплікації FIS. Ці множини

об'єднуються в єдиний нечіткий результат за допомогою процедури агрегування. Для перетворення отриманого нечіткого набору в конкретне числове значення застосовується один із методів дефазифікації, описаних у відповідному розділі методів обробки нечітких даних.

Системи нечіткого висновку Sugeno.

Нечіткий метод виведення Сугено, відомий також як підхід Такагі-Сугено-Канга, базується на використанні вихідних функцій, які є або сталими, або лінійно залежними від вхідних змінних. Завдяки цьому процес перетворення нечіткого результату у чітке значення (дефазифікація) стає більш обчислювально ефективним, ніж у системах Мамдані, оскільки застосовується зважене середнє або зважена сума набору даних, замість обчислення центроїда двовимірної області.

У системі Сугено кожне правило визначає поведінку системи з кількома входами, наприклад, x і y , і формує відповідні вихідні значення. Для систем першого порядку (де коефіцієнти a і b ненульові) правило можна інтерпретувати як розташування рухомого синглтона, що спрощує візуалізацію та аналіз поведінки системи. Тобто вихідні стрибки одного елемента можуть переміщатися лінійно в межах вихідного простору залежно від вхідних значень. Тоді сила стрільби за правилом визначає розмір одиночного шипа.

Остаточним виходом системи є середньозважене значення всіх виходів правил: Системи Sugeno завжди використовують імплікацію продукту та агрегацію сум. Через лінійну залежність кожного правила від вхідних змінних, метод Sugeno є ідеальним для того, щоб діяти як інтерполяційний супервізор кількох лінійних контролерів, які мають бути застосовані відповідно до різних робочих умов динамічної нелінійної системи. Наприклад, характеристики літака можуть різко змінюватися з висотою та числом Маха. Незважаючи на те, що лінійні контролери прості в обчисленні та підходять для будь-яких заданих умов польоту, їх необхідно регулярно та плавно оновлювати, щоб не відставати від мінливого стану літального апарату. Система нечіткого виведення Сугено ефективно застосовується для гладкої інтерполяції лінійних коефіцієнтів впливу у вхідному просторі, виконуючи роль природного та високоефективного механізму розподілу керуючих дій. Так

само виконаємо експеримент. Візьмемо нашу одноконтурну систему, та зробимо заміну вхідних сигналів, щоб подитись реакцію системи на інші збурення. Чи впорається звичайний регулятор із регулювання при зміні вхідного сигналу.

Використаємо розроблену модель одноконтурної системи та поставимо на вхід блок, який генерує імпульсний сигнал, зробимо ще одну одноконтурну систему та поставимо ще інший сигнал, а саме сигнал випадкової амплітуди та будемо спостерігати, як змінюються наші якісні показники.

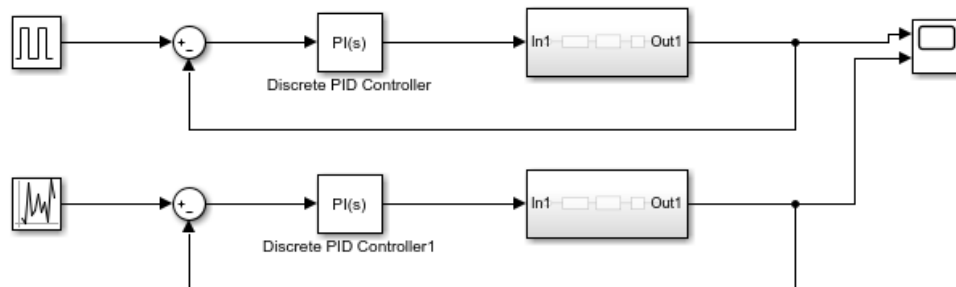


Рис. 3.13. Одноконтурна система з іншими вхідними сигналами

Після того, як ми змодельовали, виконаємо симуляцію нашої системи.

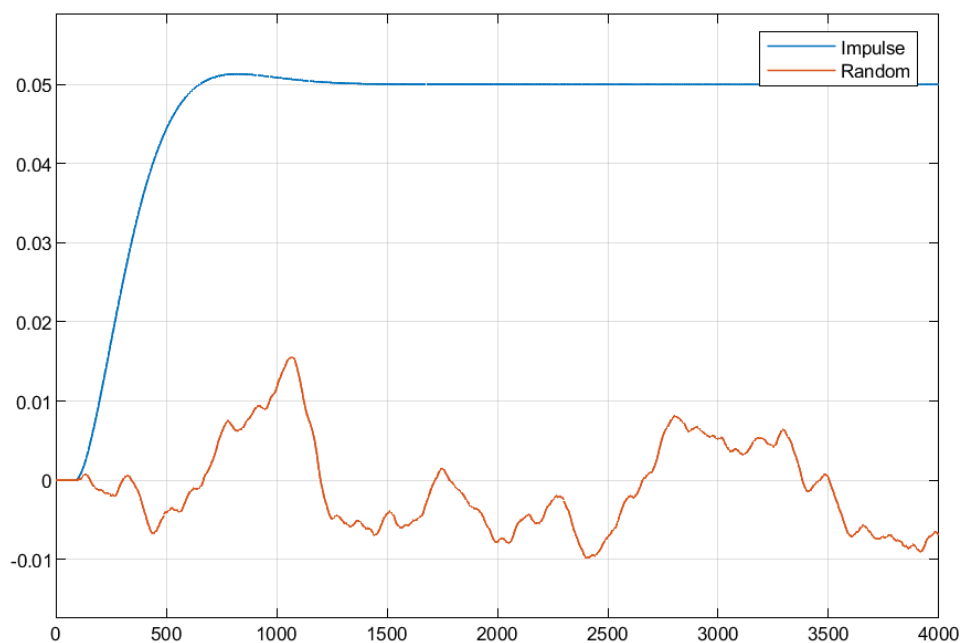


Рис. 3.14. Результат на виході системи

З графіку можна побачити, що при імпульсному сигналі, наша система ірмається, при випадково – амплітудному, якісні показники швидко змінюються і система втрачає стабільність. Отже, виконає перевірку на стійкість обох систем за

критерієм Найквіста.

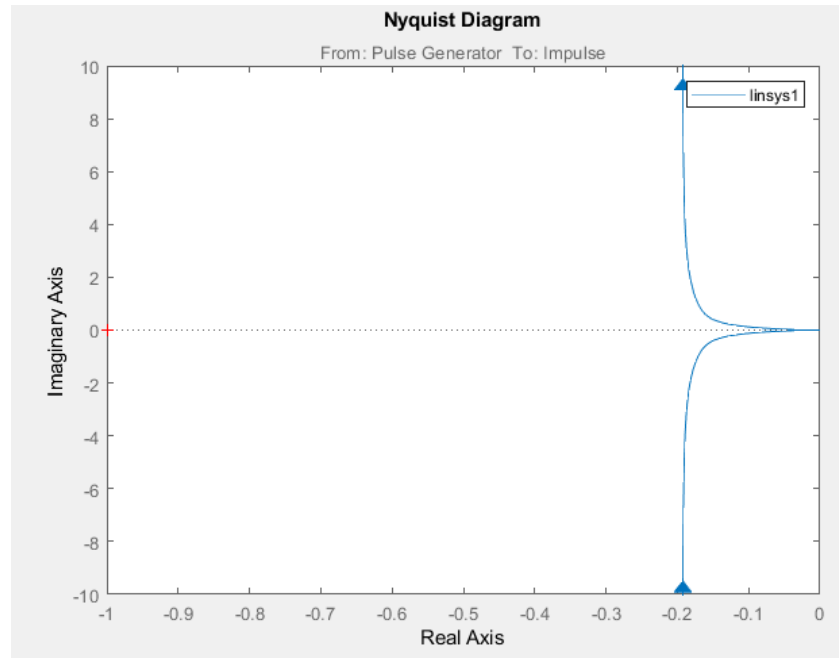


Рис. 3.15. Стійкість при подачі на вхід імпульсного сигналу

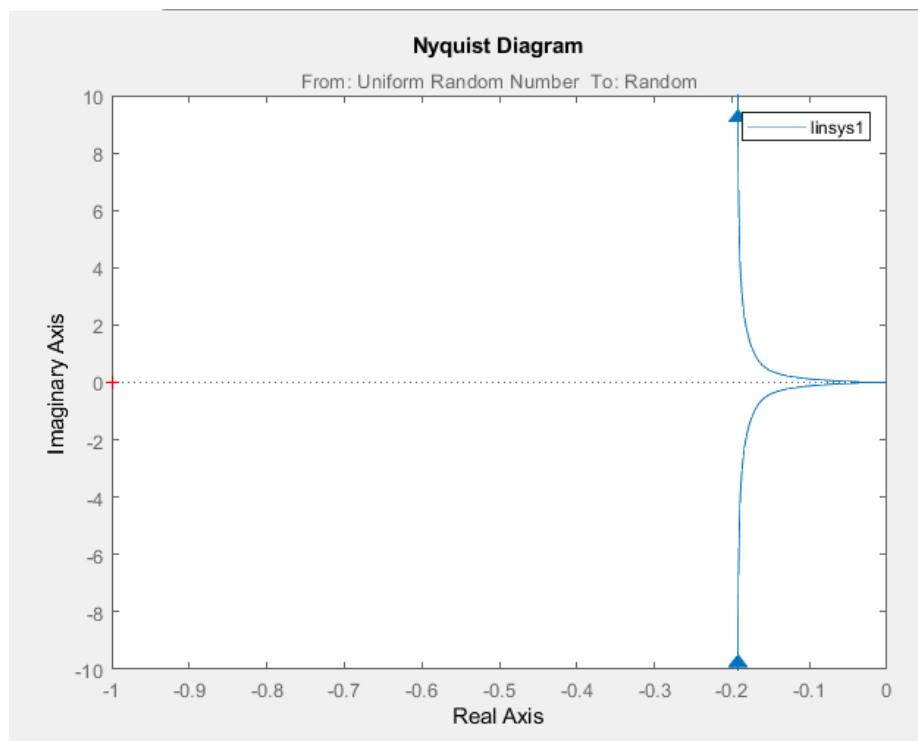


Рис. 3.16. Стійкість при подачі на вхід випадково-амплітудного сигналу

Створимо таблицю для порівняння та проведемо аналіз АСК під час подачі на вхід іншого збурення.

Параметри системи

Вхідний Сигнал	Тип регулятора	Якісні показники	
		Час перехідного процесу, сек	Перерегулювання, %
Імпульсний	ПІ ($K_p=1.05202$, $K_i=0.005136$)	1489.029	0.0516%
Випадково–амплітудний	ПІ ($K_p=1.06102$, $K_i=0.004136$)	-	0.01554%

Зробивши аналіз з таблиці 3.6 та рисунку 3.14, можна сказати, що коли на вхід поступає випадково – амплітудний сигнал, звичайний регулятор в одноконтурній системі перестає виконувати свою дію і система втрачає свою стабільність та якісні показники.

Для того, щоб покращити та стабілізувати нашу систему виконаємо регулювання нечітким регулятором.

Використаємо «Matlab» та його панель нечіткого висновку, зайшовши у робочий простір введемо команду <<Fuzzy, для нашої системи ми створимо систему типу Мамдані та проведемо налаштування нечіткого регулятора в редакторі FIS.

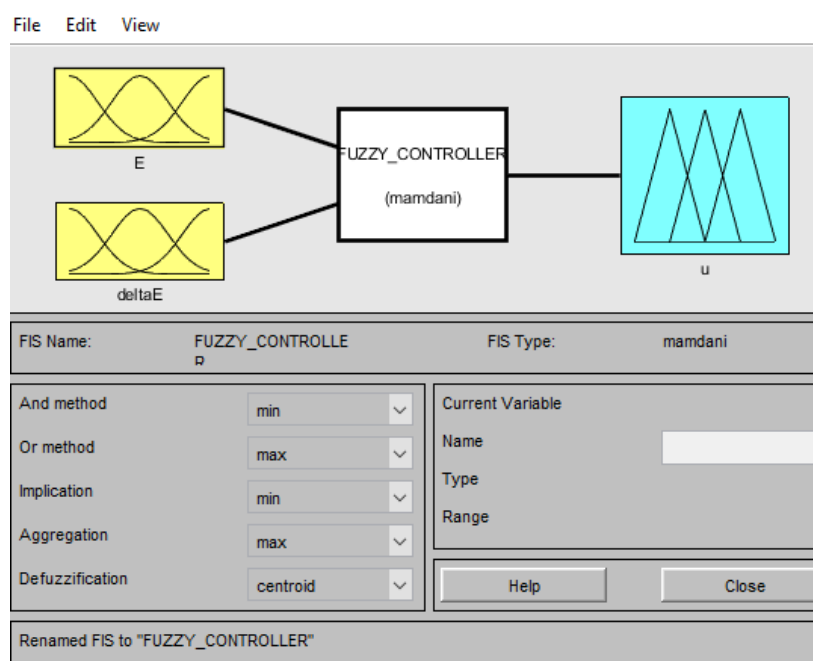


Рис. 3.17. Редактор FIS , зі створеною системою Мамдані

Для використання нечіткого регулятора, нам потрібна думка експертів, щоб скласти правила. Після опитування ми розпочинаємо налаштування. Змінною на вході у нас буде похибка керування, її можна описати термами: PL (positive little) – позитивно низьке, PM (positive medium) – додатньо середнє, та PB (positive big) – додатньо велике значення.

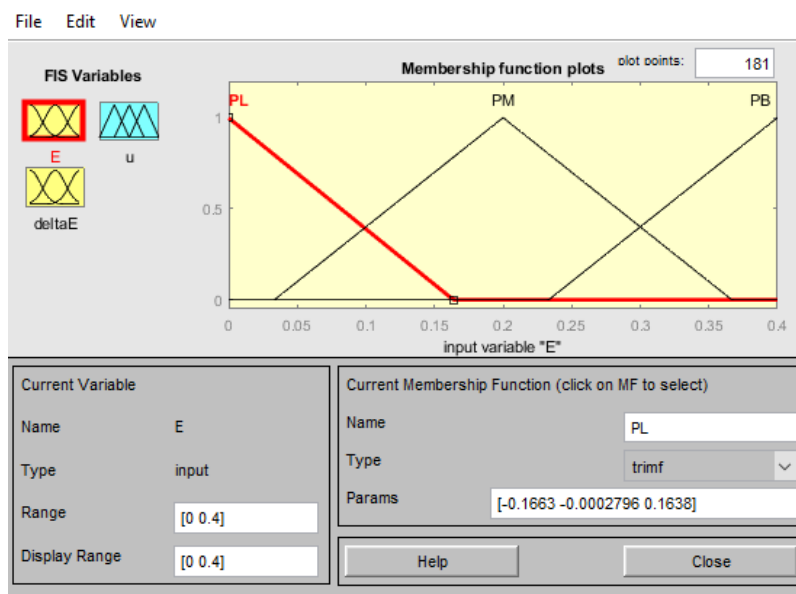


Рис. 3.18. Створенні терми для змінної E

Другою лінгвістичною змінною на вході буде різниця похибки керування від свого значення до попереднього, яка буде описуватися таким ж термами, як і попередня змінна.

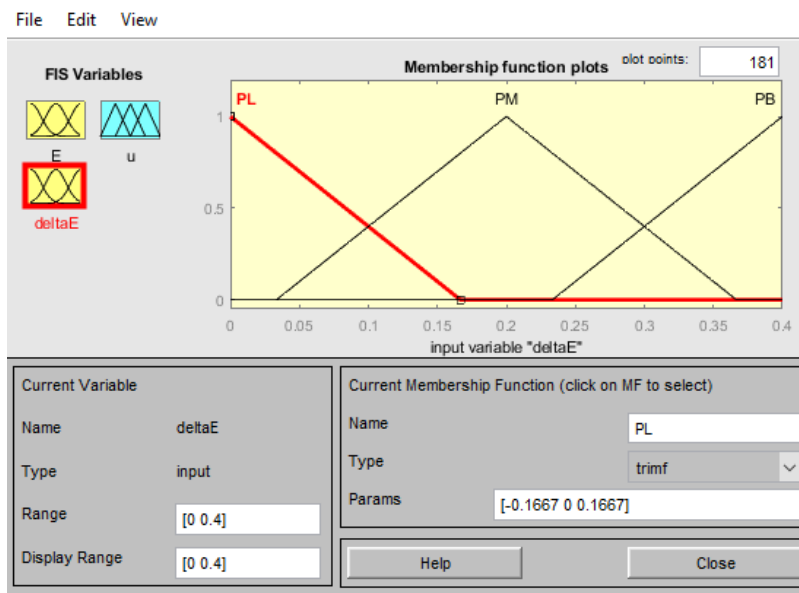


Рис. 3.19. Створенні терми для змінної deltaE

На виході змінною буде керуюча дія на об'єкт керування, її опишемо такими термами: CL(control little) – додатньо низьке, CM (control medium) – додатньо середнє та CB (control big) –додатньо велике значення.

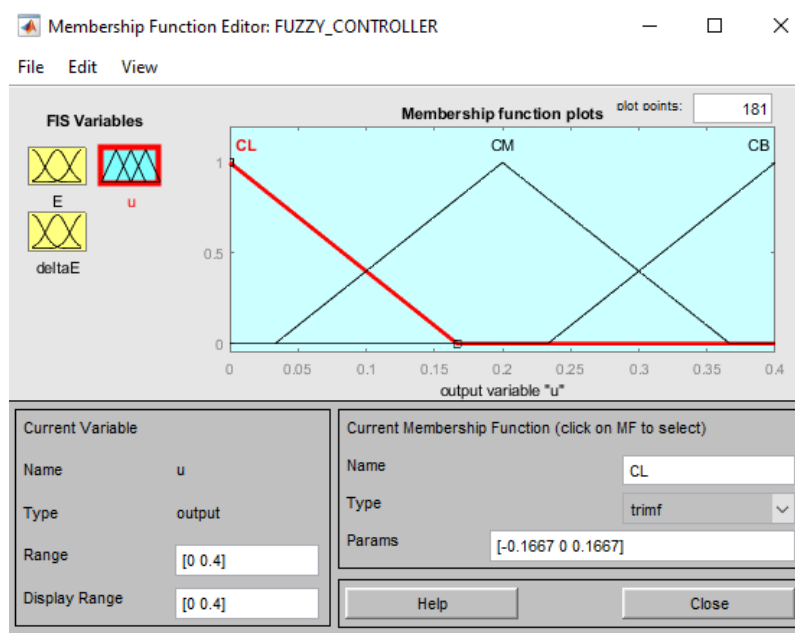


Рис. 3.20. Створені терми для вихідної змінної

Базу знань, або базу правил для fuzzy регулятора зображено на рисунку 3.21, який містить дев'ять правил, що були сформовані експертами та додатковою англomовною літературою.

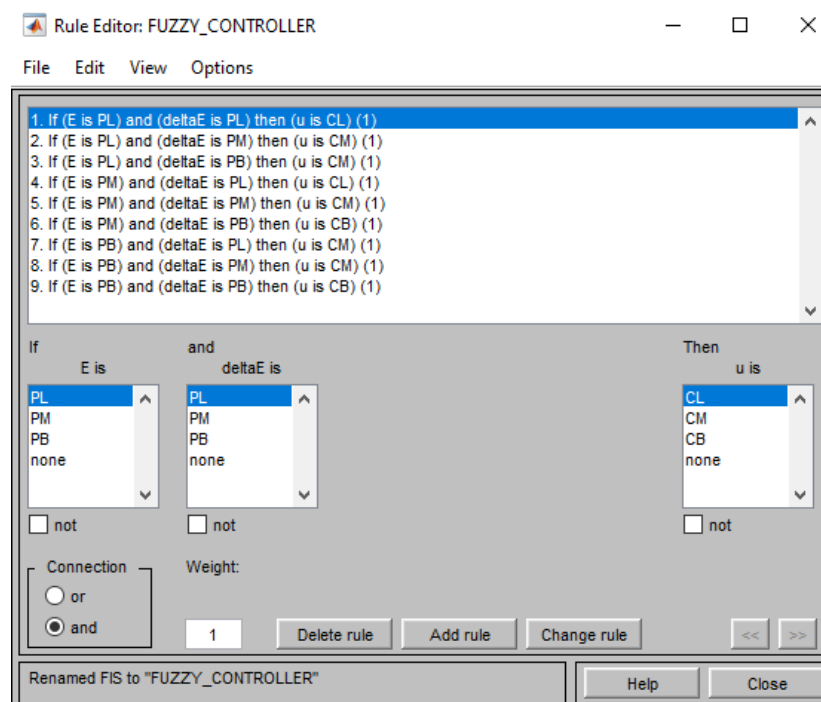


Рис. 3.21. Командне вікно бази правил

Використовуючи систему Мамдані ми змогли сформувати базу правил нечіткого висновку, яка була потрібна для нашого регулятора адже завдяки їй відбувся синтез нечіткого регулятора.

Проведемо експеримент та виконаємо модель системи використавши Fuzzy-регулятор.

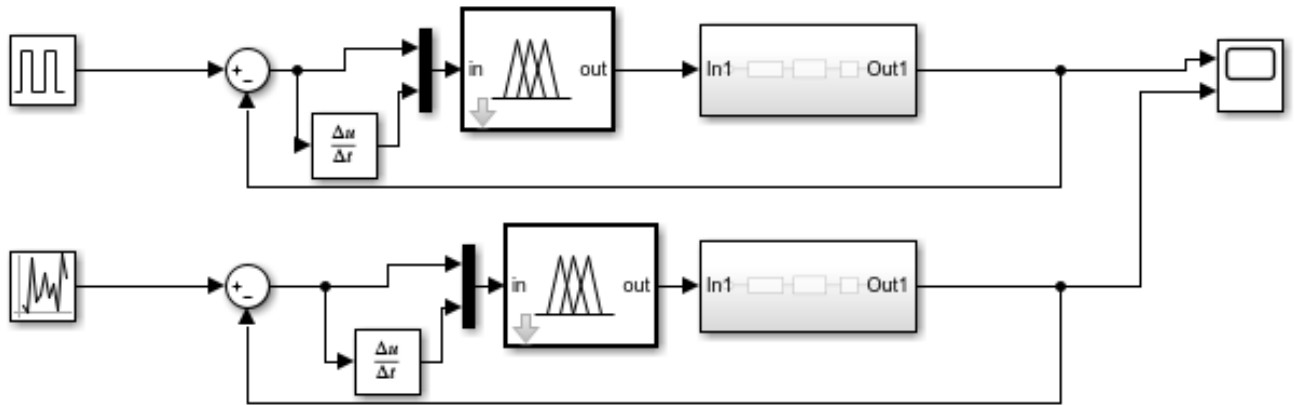


Рис. 3.22. Одноконтурна система із Fuzzy регулятором

Завантаживши створені правила до регулятора виконаємо симуляцію системи та подивимось на реакцію із Fuzzy – регулятором.

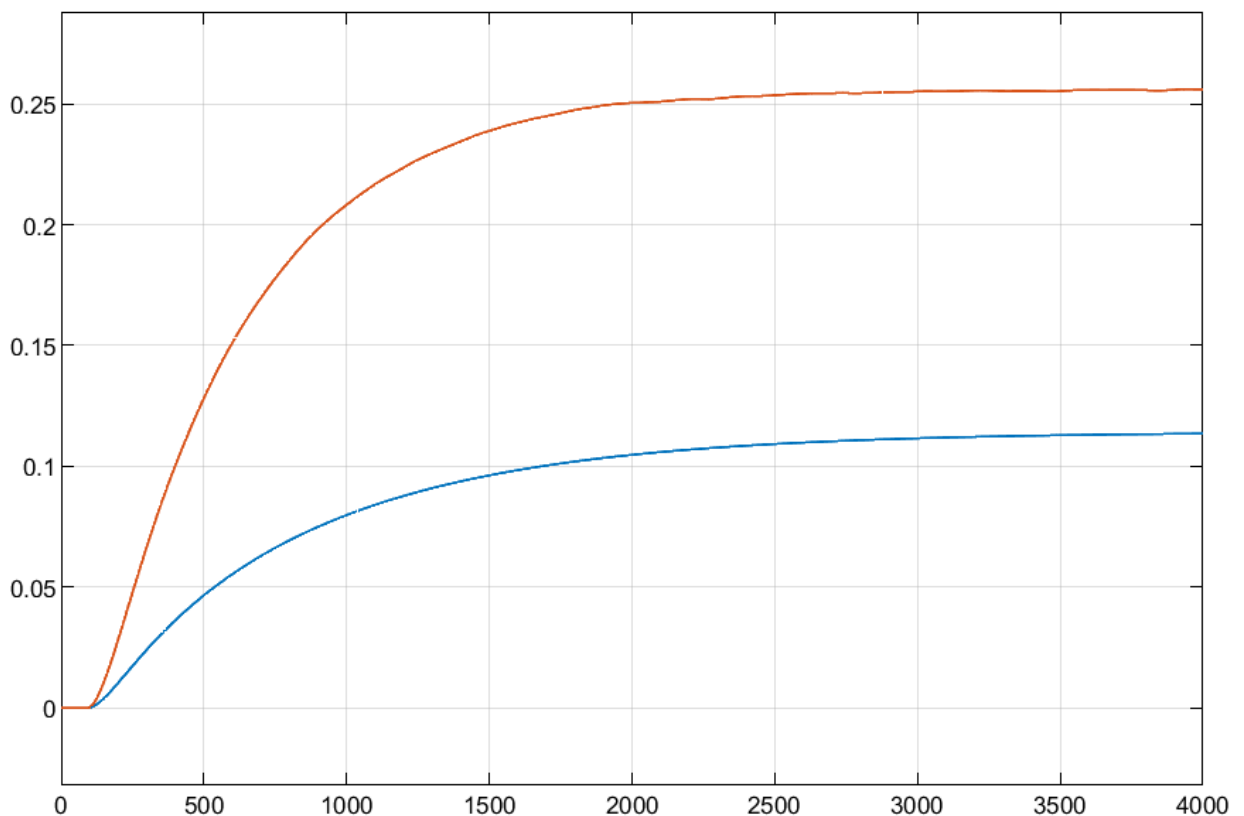


Рис. 3.23. Результат при використанні нечіткого регулятора

Таблиця 3.7

Параметри системи

Вхідний Сигнал	Тип регулятора	Якісні показники	
		Час перехідного процесу, сек	Перерегулювання, %
Імпульсний	Fuzzy_controler	3551.039	0.2503%
Випадково–амплітудний	Fuzzy_controler	4000.024	0.1121%

Зробивши аналіз таблиці 3.7 та графіку системи зображеного на рисунку 3.23 можна зробити висновок, що використовуючи нечіткий – Fuzzy регулятор система стала стабільною, контрольованішою та з кращими показниками при подачі на вхід імпульсного або випадково амплітудного сигналу.

Використовуючи звичайний регулятор ми б не змогли отримати такий результат на виході системи.

3.5. Дослідження одноконтурної системи, застосування адаптивного нечіткого ПД - регулятора

Управління складними об'єктами, що працюють у нестабільних або змінних умовах, найчастіше здійснюється за допомогою адаптивних регуляторів, які забезпечують можливість обчислення оптимальних параметрів налаштування та реалізацію складних законів керування. Сучасні адаптивні контролери як зарубіжного, так і вітчизняного виробництва - такі як Кобра, Реміконт, МКІСТ, Протар, Овен, Сіменс, Мікрол та інші - зазвичай застосовують метод Зіглера–Ніколса.

Цей метод базується на виведенні системи з пропорційним регулятором на межу стійкості та подальшому визначенні оптимальних параметрів ПД-регулятора на основі критичного періоду коливань і коефіцієнта підсилення за допомогою емпіричних формул. Проте в умовах реальної експлуатації деякі технологічні

процеси не допускають автоколивального режиму, що обмежує застосування цього підходу. Внаслідок цього питання пошуку ефективного методу адаптації регуляторів залишається відкритим і потребує подальших досліджень.

Останнім часом спостерігається стійке зростання інтересу до нечітких моделей та алгоритмів керування. Нечітке управління базується не стільки на аналітичних або теоретичних моделях об'єкта, скільки на практичних знаннях кваліфікованих фахівців, представлених у вигляді лінгвістичних правил. Такий підхід виявляє високу ефективність у випадках невизначеності параметрів об'єктів, коли існує певний досвід експертів у керуванні та налаштуванні автоматизованих систем регулювання.

Теорія нечіткої логіки дозволяє формалізувати знання операторів для підвищення ефективності керування та надання допоміжних функцій у супервізорному режимі автоматичної системи, що полегшує налаштування класичних регуляторів. На основі цих підходів актуальним є завдання розробки методу адаптації ПІД-регулятора, який інтегрує досвід фахівців і забезпечує підвищену точність та стабільність управління [10].

Виконаємо експеримент на основі одноконтурної системи. Подамоо на вхід стрибкоподібний сигнал та подивиномсь, що змінилось у системі.

Змоделюємо fuzzy – ПІД регулятор з трьох входів та одного виходу. Входами у нас будуть – коефіцієнти ПІД-регулятора, виходом – керуюча дія. Побудуємо модель в програмному середовищі “Matlab Simulink” та зробимо вхідним сигналом заданий вплив, зробимо спостереження за процесом, які будуть зміни.

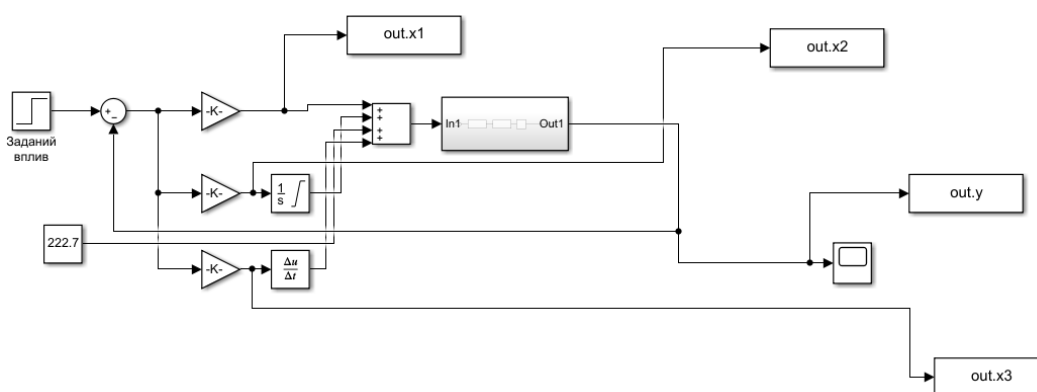


Рис. 3.24. Система нечіткого – регулятора без використання адаптивних налаштувань

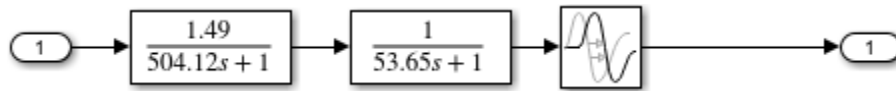


Рис. 3.25. «Subsystem» вміст

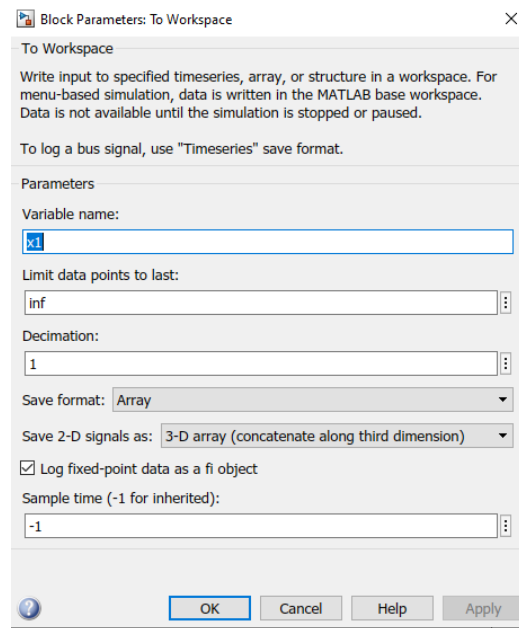


Рис. 3.26. Вигляд вікна налаштування входів та виходу

Після того, як ми змоделювали одноконтурну систему та зробили налаштування входу та виходу проведемо симуляцію.

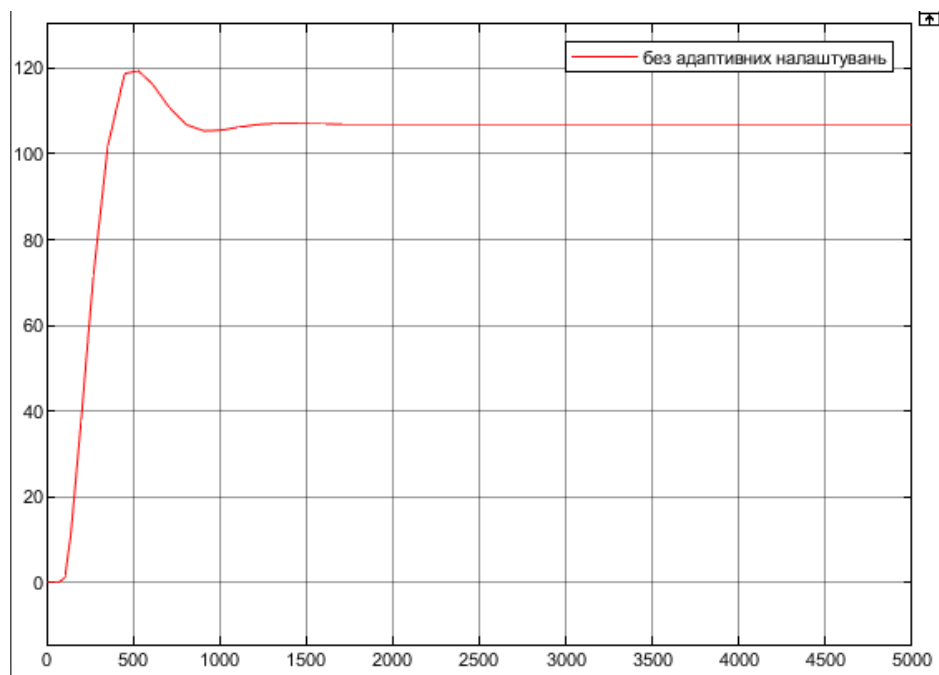


Рис. 3.27. Результат проведення експерименту

Запишемо якісні показники з рисунку 3.27.

Час перехідного процесу 1709 с.

Час досягнення першого максимуму 456 с.

$$\Delta = ((119-1)/1) \cdot 100\% = 1180\% - \text{перерегулювання}$$

Перевіримо нашу модель на стійкість за критерієм Найквіста.

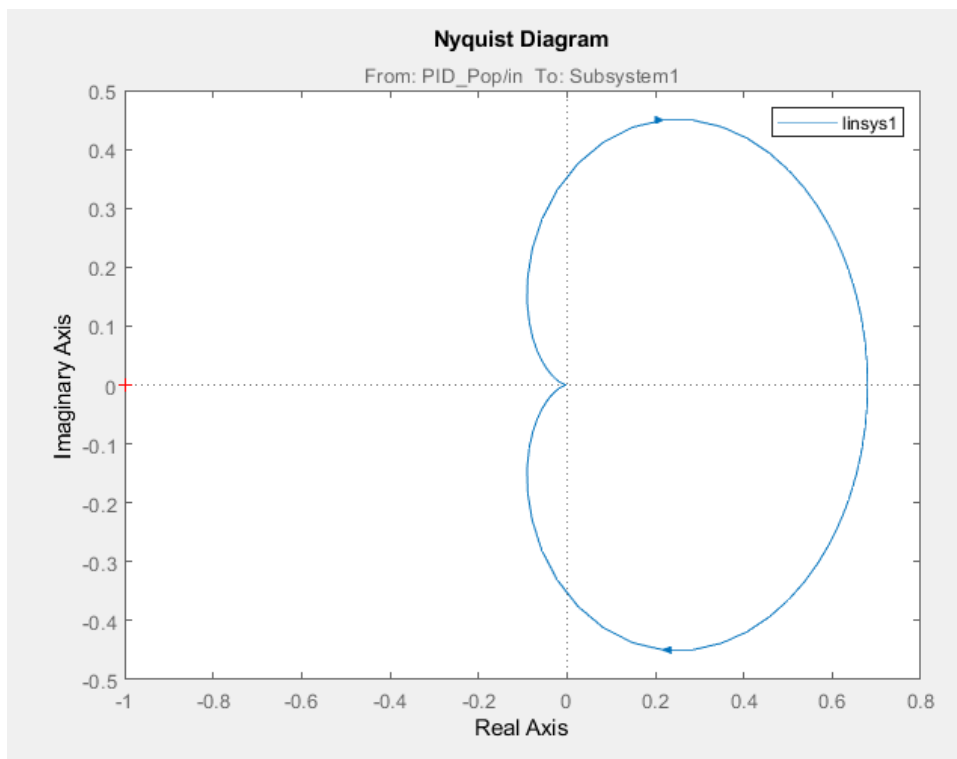


Рис. 3.28. Діаграма Найквіста із регулятором без адаптивних налаштувань

Сформуємо дані для гібридної системи. Використаємо команду ПП «Matlab» запишемо її у workspace:

```
>> x1 = out.x1;
x2 = out.x2;
x3 = out.x3;
y = out.y;
data = [x1 x2 x3 y];
%%
```

Рис. 3.29. Формування даних гібридної мережі

Подивимось чи завантажились наші дані у «Matlab».

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	0	0	0										
2	0	0	0	0										
3	0	0	0	0										
4	0	0	0	0										
5	0	0	0	0										
6	0	0	0	0										
7	0	0	0	0										
8	0	0	0	0										
9	0	0	0	0										
10	0	0	0	0										
11	0	0	0	0										
12	1.4245	1.4000	0.3592	0										
13	1.4245	1.4000	0.3592	0										
14	1.4245	1.4000	0.3592	0										
15	1.4245	1.4000	0.3592	0										
16	1.4245	1.4000	0.3592	0										
17	1.4245	1.4000	0.3592	0										
18	1.4245	1.4000	0.3592	0										
19	1.4245	1.4000	0.3592	0										
20	1.4245	1.4000	0.3592	0										
21	1.4245	1.4000	0.3592	0										
22	1.4245	1.4000	0.3592	0										
23	1.4245	1.4000	0.3592	0										
24	1.4245	1.4000	0.3592	0										
25	1.4245	1.4000	0.3592	0										
26	1.4245	1.4000	0.3592	0										
27	1.4245	1.4000	0.3592	0										
28	1.4245	1.4000	0.3592	0										
29	1.4245	1.4000	0.3592	0										
30	1.4245	1.4000	0.3592	0										
31	1.4245	1.4000	0.3592	0										
32	1.4245	1.4000	0.3592	0										
33	1.4245	1.4000	0.3592	0										
34	1.4245	1.4000	0.3592	0										

Рис. 3.30. Таблиця даних

Скористаємось командою `anfisedit` занесемо дані за допомогою `Load data` для навчання системи створення бази правил

```
>> x1 = out.x1;
>> x2 = out.x2;
>> x3 = out.x3;
>> y = out.y;
>> data = [x1 x2 x3 y];
>> anfisedit
>>
```

Training Data (ooo)

Output

data set index

ANFIS Info.

- # of inputs: 3
- # of outputs: 1
- # of input mfs: 3 3 3
- # of train data pairs: 87

Load data

Type: Training Testing Checking Demo

From: file worksp.

Generate FIS

Load from file Load from worksp. Grid partition Sub. clustering

Train FIS

Optim. Method: hybrid

Error Tolerance: 0

Epochs: 3

Test FIS

Plot against: Training data Testing data Checking data

train data loaded

Рис. 3.31. Вікно команди `anfisedit`

Навчання, яке проводиться у структурі ANFIS є видом оптимізаційної задачі. Таким чином, метаевристики та еволюційні алгоритми можна використовувати для навчання (налаштування параметрів) структури ANFIS. У цій публікації ми збираємося поділитися з вами впровадженням еволюційного навчання ANFIS у MATLAB. Код спочатку створює початкову необроблену структуру ANFIS, а потім використовує генетичний алгоритм (GA) або оптимізацію роєм частинок (PSO) для навчання ANFIS. Еволюційно навчений ANFIS використовується для вирішення задач нелінійної регресії та апроксимації функції.[10]

Зробимо навчання ШНМ, виберемо налаштування у Generate FIS.

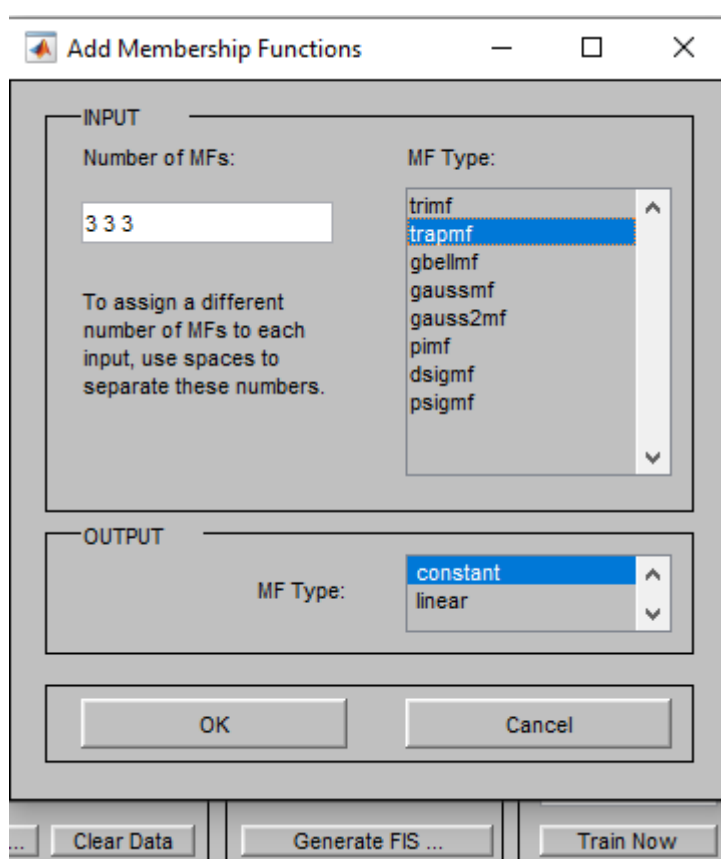


Рис. 3.32. Налаштування Generate FIS для проведення навчання

Проведемо експеримент та будемо змінювати кількість підходів навчання для вибору найкращого з найнижчою кількістю похибок.

```

ANFIS info:
  Number of nodes: 78
  Number of linear parameters: 27
  Number of nonlinear parameters: 36
  Total number of parameters: 63
  Number of training data pairs: 87
  Number of checking data pairs: 0
  Number of fuzzy rules: 27

Start training ANFIS ...

  1      3.92787
  2      3.92787

Designated epoch number reached --> ANFIS training completed at epoch 2.

Minimal training RMSE = 3.927875

ANFIS info:
  Number of nodes: 78
  Number of linear parameters: 27
  Number of nonlinear parameters: 36
  Total number of parameters: 63
  Number of training data pairs: 87
  Number of checking data pairs: 0
  Number of fuzzy rules: 27

Start training ANFIS ...

  1      3.92787
  2      3.92787

Designated epoch number reached --> ANFIS training completed at epoch 2.

Minimal training RMSE = 3.927875
fx >> |

```

Рис. 3.33. Відображення похибок у workspace

Провівши експеримент виберемо результат з найменшим числом похибок , це є метод навчання зі 100 піходів.

Результат нашого навчання відображається на графіку.

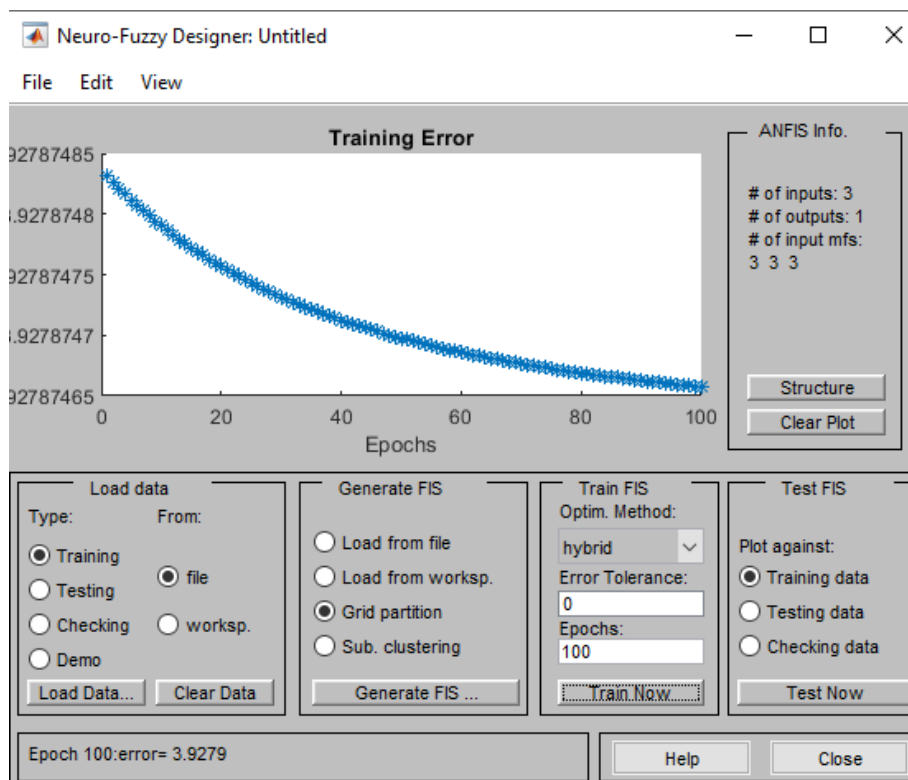


Рис. 3.34. Навчання мережі зі 100 підходів

Структуру ANFIS можна побачити 3.35 Система нечіткого типу SUGENO має три входи, і один вихід. В порівнянні із типовим підходом ANFIS є гібридним алгоритмом.

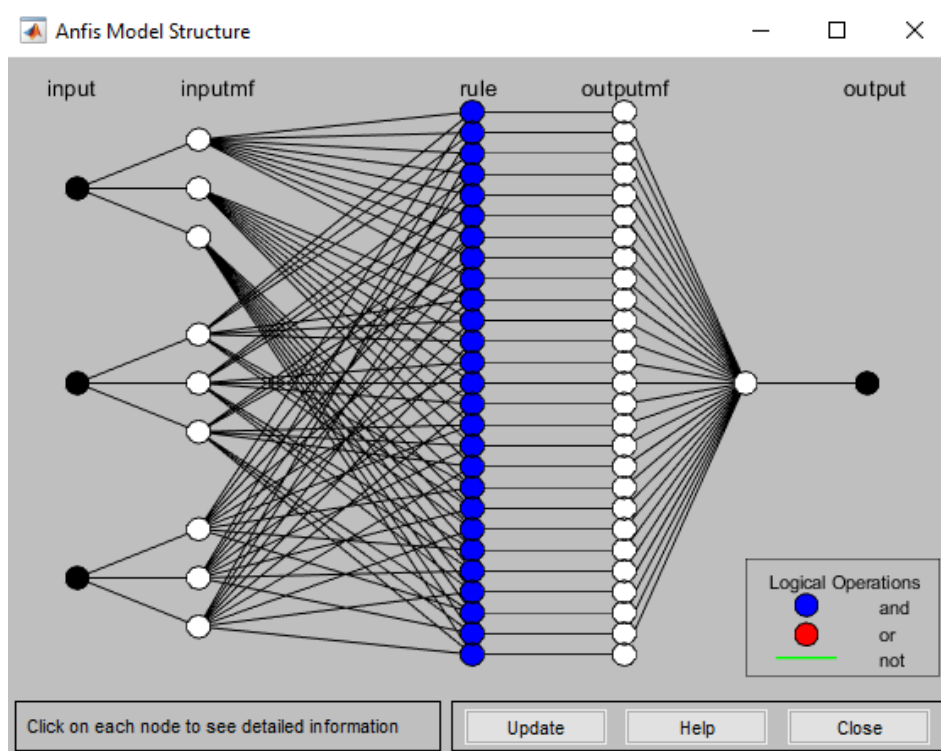


Рис. 3.35. Модель структури ANFIS

Завантажимо новостворенну базу знань у наш регулятор, залишається збернгти наше навчання та експортувати його на workspace в ПП «Matlab». Введемо команду `>> Fuzzy` та імпортуємо дані з workspace.

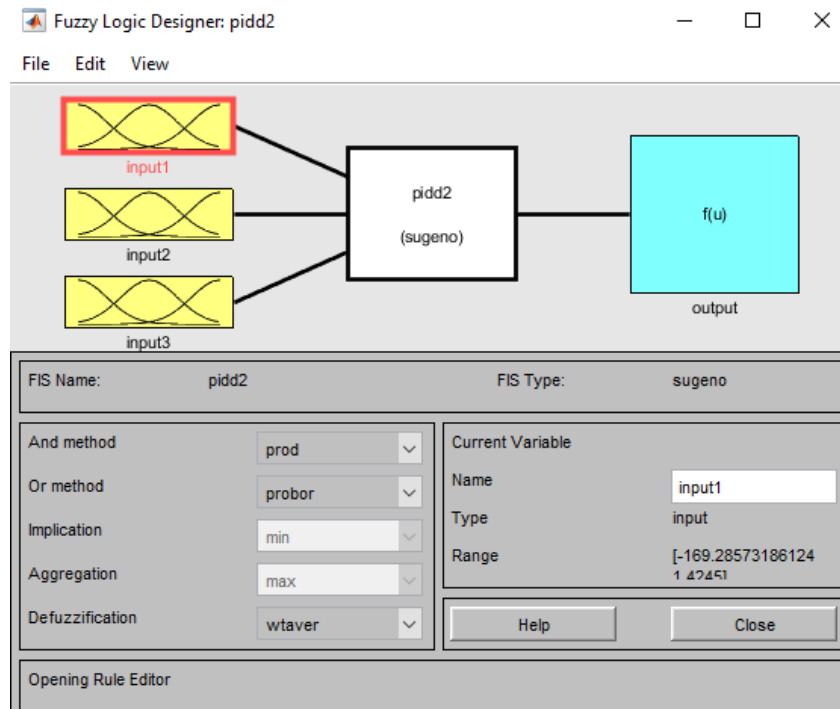


Рис. 3.36. Система SUGENO завантаження даних

Подивимось на базу знань для адаптивного регулятора нашої системи.

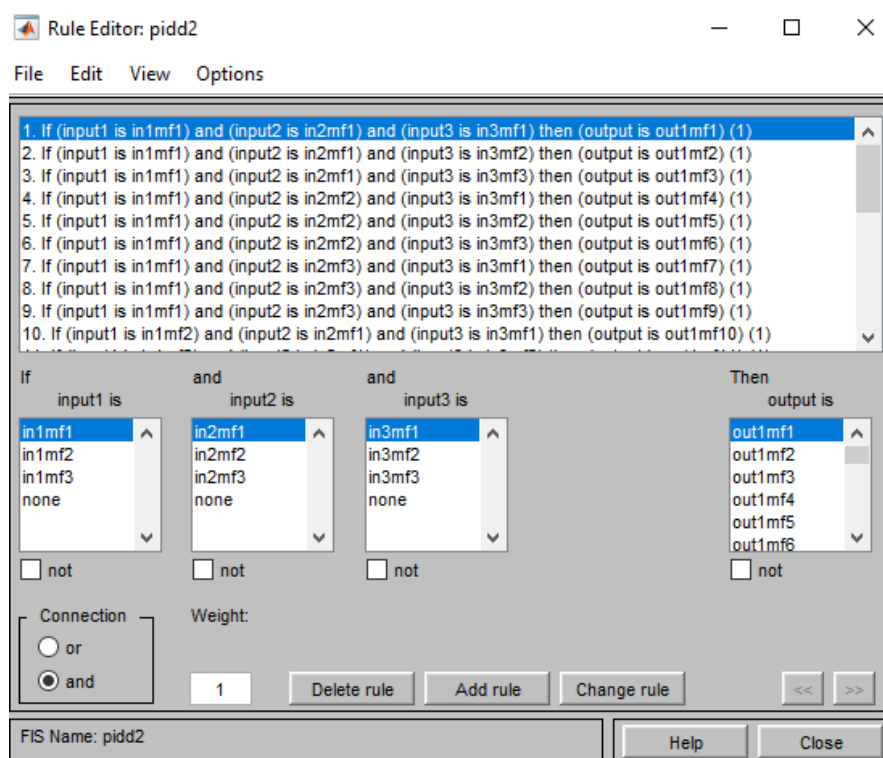


Рис. 3.37. База знань для адаптивного регулятора

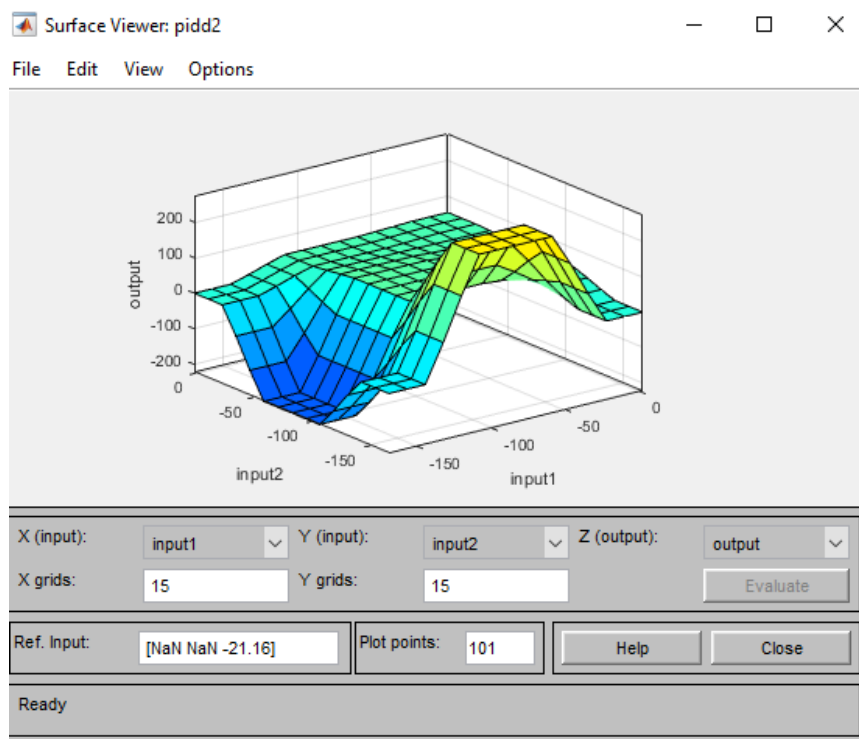


Рис. 3.38. Тривімірна модель створеної функції

Зробимо експорт даних на workspace для імпорту їх у адаптивний регулятор.

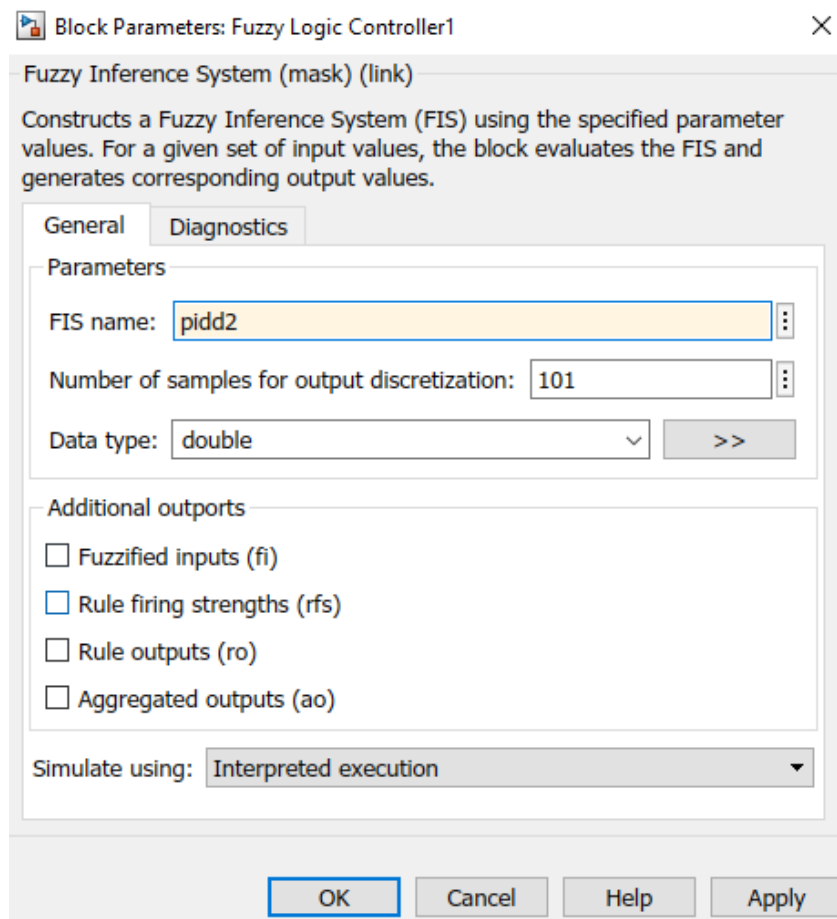


Рис. 3.39. Імпорт даних у адаптивний – нечіткий ПІД регулятор

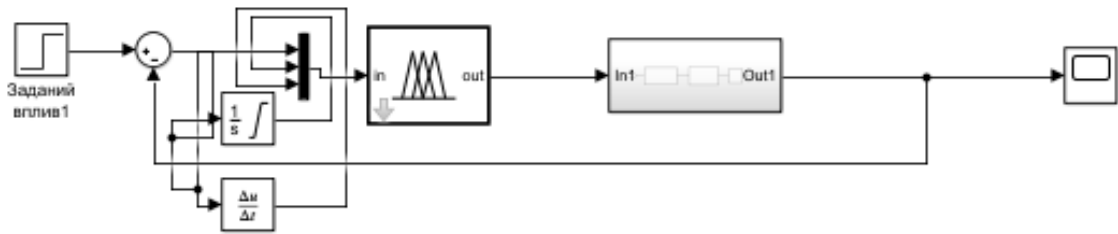


Рис. 3.40. Модель одноконтурної системи з використанням адаптивного – нечіткого ПІД регулятора

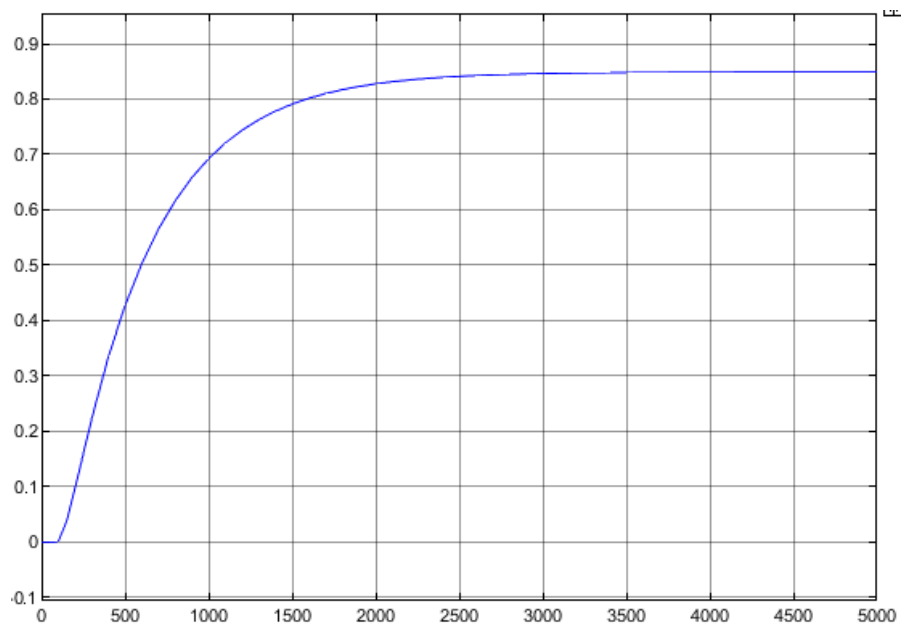


Рис. 3.41. Результат застосування адаптивного регулятора

Здійснимо перевірку одноконтурної системи з використанням гібридної мережі на стійкість за критерієм Найквіста.

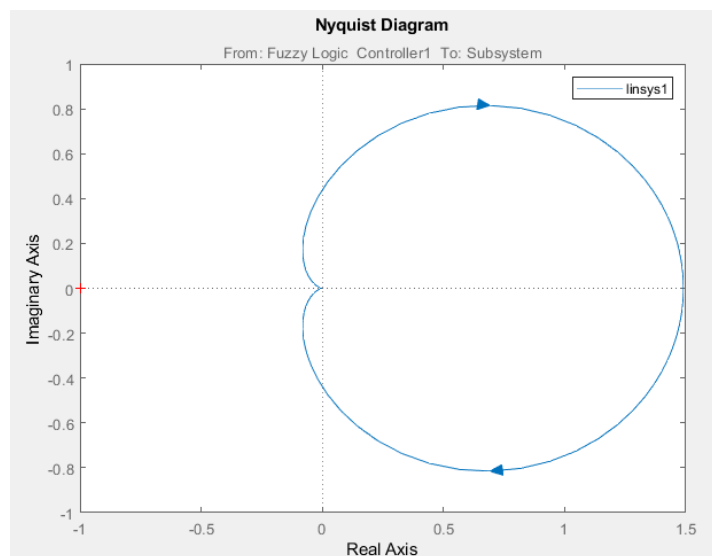


Рис. 3.42. Діаграма Найквіста для системи з використанням адаптивного регулятора

Параметри регуляторів

Вхідний сигнал	Тип регулятора	Якісні показники	
		Час перехідного процесу, сек	Перерегулювання, %
Імпульсний	ПІД-регулятор	1709	1180%
Випадково-амплітудний	ПІД_Fuzzy_controler	3500	15%

Побачивши дані з таблиці можна зробити аналіз, що при застосуванні адаптивного – нечіткого ПІД регулятора можна швидко та якісно покращити показники нашої системи.

3.6. Моделювання багатоконтурної системи та підбір регулятора

Змоделюймо багатоконтурну систему в середовищі “Simulink” програмного продукту Matlab. Зробимо два контури регулювання основний та допоміжний, використаємо в моделюванні ПІД – регулятори.

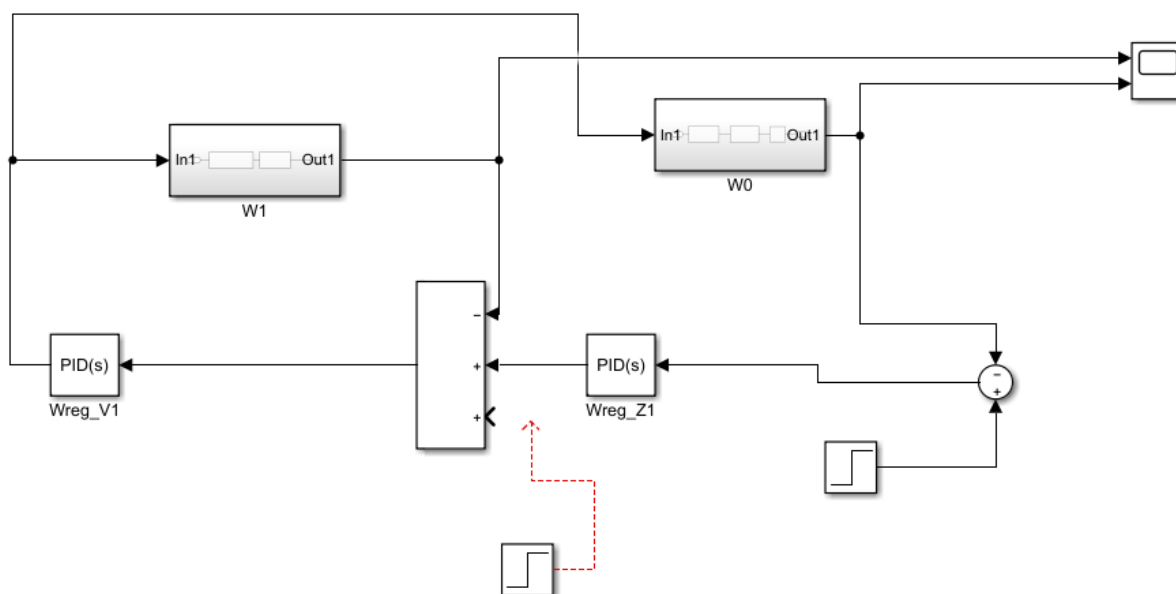


Рис. 3.43. Модель багатоконтурної АСК в “ Simulink”

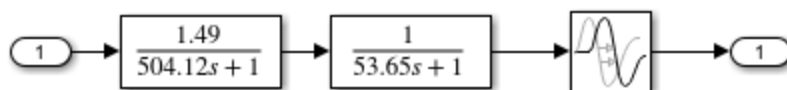


Рис. 3.44. Вміст блоку Subsystem основного каналу W0

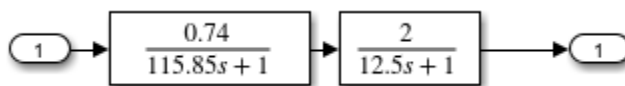


Рис. 3.45. Вміст блоку Subsystem допоміжного каналу W1

Пошук регуляторів. Проведемо експеримент та знайдемо кращий регулятор.

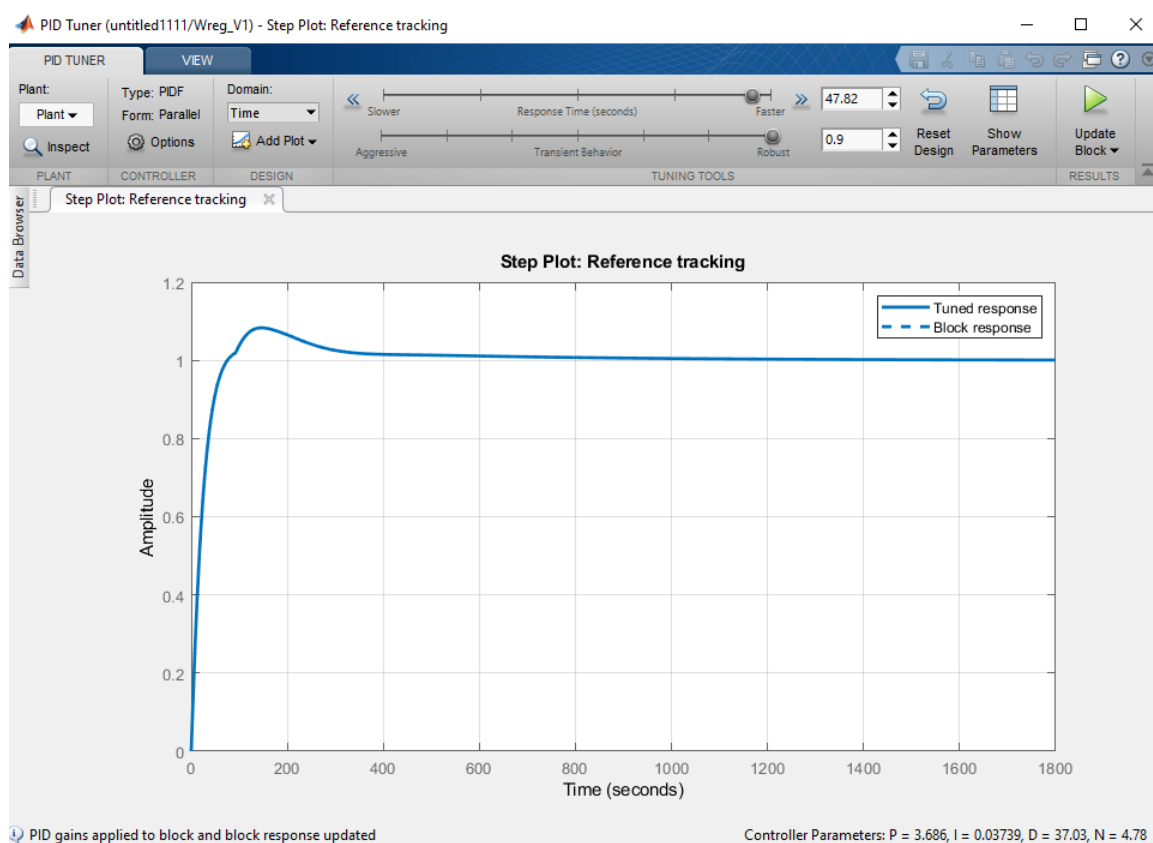


Рис. 3.46. Результат ПІД –регулятора по основному каналу

Таблиця 3.9

Параметри ПІД регулятора

Параметр	Дані
Час перехідного процесу	970 с
Час досягнення першого максимуму	128 с
Час розгону	76.7 с

Виконаєм розрахунок для перерегулювання

$$\Delta = ((1.08 - 1) / 1) \cdot 100\% = 8\% \quad \text{– перерегулювання}$$

Запишемо основні характеристики даного регулятора:

$$P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + \frac{1}{s}} \quad (3.5)$$

Підставимо значення змінних:

$$W_{ок}(p) = 3.6857 + 0.0374 \frac{1}{s} + \frac{37.0276 \cdot 4.47796}{1 + 4.7796 \frac{1}{s}} \quad (3.6)$$

Проведемо експеримент по допоміжному каналу.

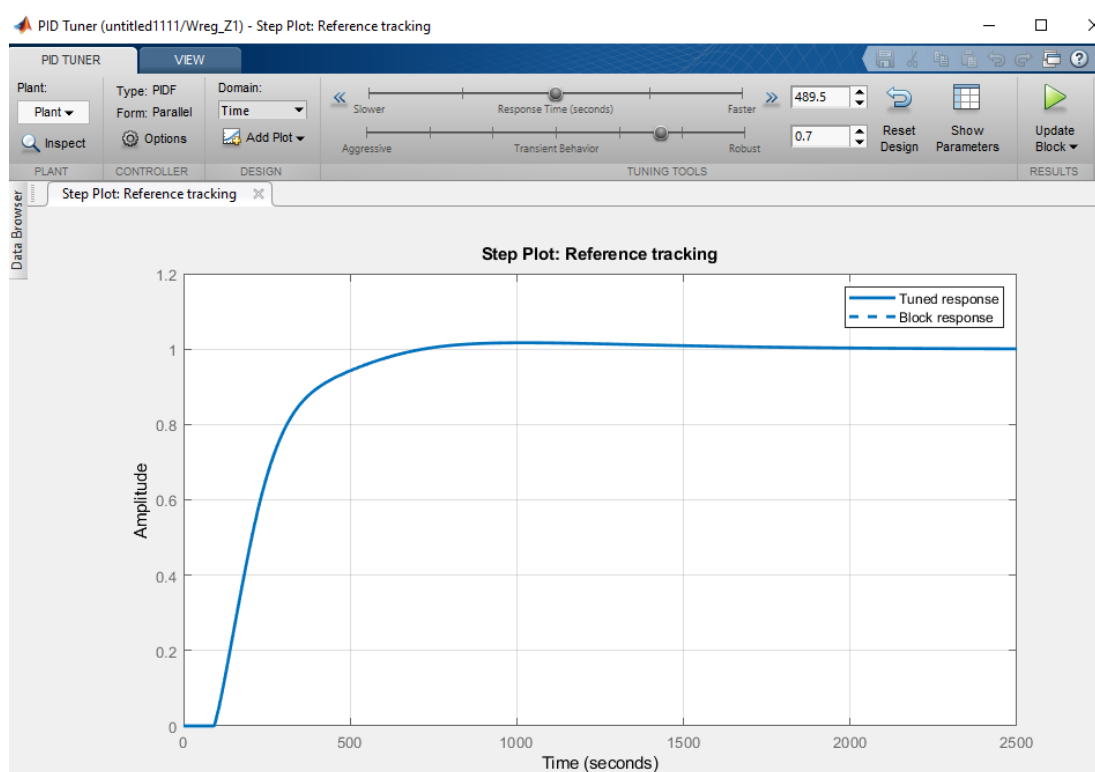


Рис. 3.47. ПІД регулятор (допоміжний канал)

Таблиця 3.10

Параметри ПІД регулятора (допоміжний контур)

Параметр	Дані
Час перехідного процесу	1770 с
Час досягнення першого максимуму	900 с
Час розгону	717 с

Виконаєм розрахунок для перерегулювання:

$$\Delta = ((1.02 - 1) / 1) \cdot 100\% = 2\% \text{ – перерегулювання}$$

Запишемо основні характеристики даного регулятора за формулою 3.6

Підставимо значення і отримаєм.

$$W_{ок}(p) = 1.7466 + 0.0045 \frac{1}{s} + \frac{-39.1294 \cdot 0.0120}{1 + 0.0111 \frac{1}{s}} \quad (3.7)$$

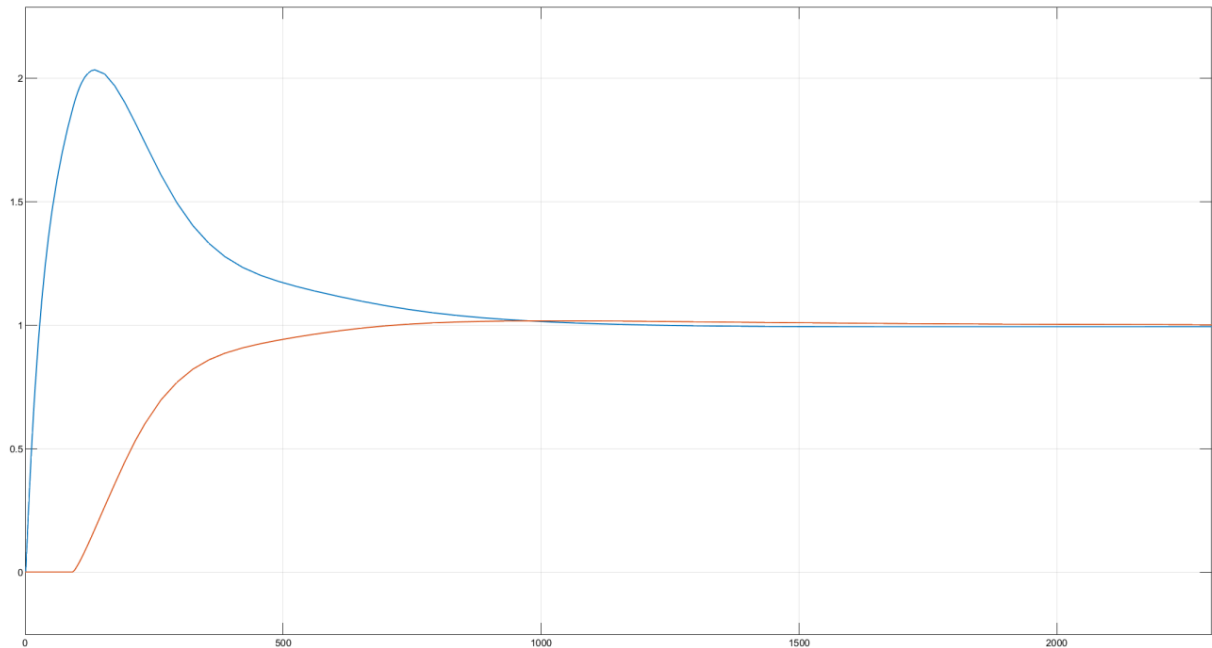


Рис. 3.48. Результат регулювання багатоконтурної системи

Зробивши аналіз з таблиць та графіку рис. 3.48 можна зробити висновки, що система є стабільною та подивитись на якісні показники.

3.7. Дослідження стійкості багатоконтурної системи

Знайдемо еквівалентну передавальну характеристику для багатоконтурної АСК.

Виконаємо обчислення еквівалентної функції в Matlab:

```
we2 =
9.154e10 s^9 + 2.758e11 s^8 + 2.987e11 s^7 + 1.373e11 s^6 + 2.452e10 s^5 + 1.661e09 s^4 + 3.922e07 s^3 + 3.641e05 s^2
+ 1332 s + 1.49
-----
3.657e13 s^11 + 1.259e14 s^10 + 1.619e14 s^9 + 9.532e13 s^8 + 2.601e13 s^7 + 3.445e12 s^6 + 2.185e11 s^5
+ 6.436e09 s^4 + 1.009e08 s^3 + 8.475e05 s^2 + 2947 s + 3.205
```

Рис. 3.49. Код обчислення еквівалентної функції

Перевіримо багатоконтурну систему на стійкість критерієм Найквіста.

```
s=tf('s');
wro=tf([198.48957 1],[5.77957 1]);
wdr=tf([1.33765 1],[1.01106 1]);
w0=tf([1.49],[27046 557.7 1]);
w1=tf([1.48],[1448.125 128.35 1]);
we2=((wro*w0*wdr)/(1+wdr*w1*wro*w0*wdr))
nyquist(we2)

we2 =

9.154e10 s^9 + 2.758e11 s^8 + 2.987e11 s^7 + 1.373e11 s^6 + 2.452e10 s^5 + 1.661e09 s^4 + 3.922e07 s^3 + 3.641e05 s^2
+ 1332 s + 1.49

-----

3.657e13 s^11 + 1.259e14 s^10 + 1.619e14 s^9 + 9.532e13 s^8 + 2.601e13 s^7 + 3.445e12 s^6 + 2.185e11 s^5
+ 6.436e09 s^4 + 1.009e08 s^3 + 8.475e05 s^2 + 2947 s + 3.205
```

Рис. 3.50. Код команди “nyquist”

Отримуємо діаграму замкнутої системи:

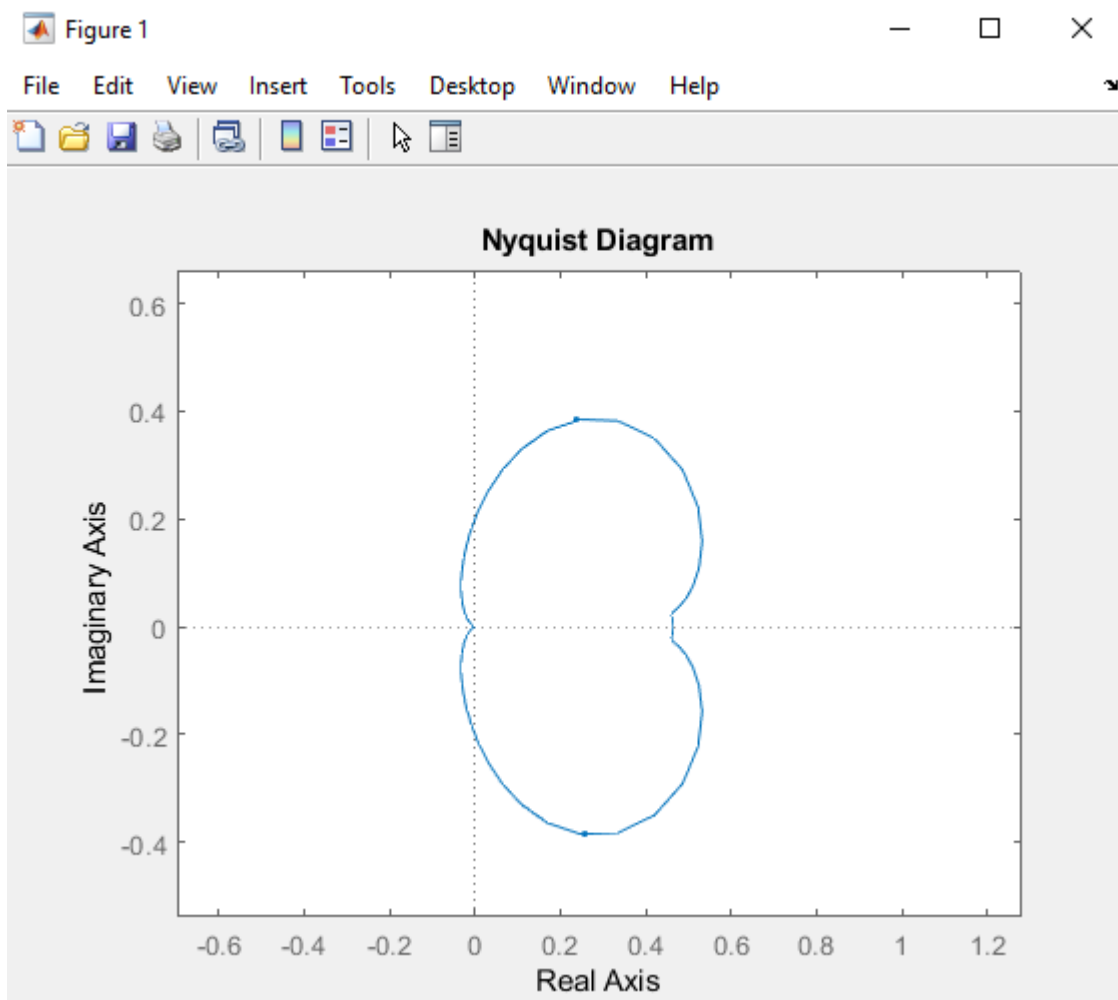


Рис. 3.51. Результат перевірки на стійкість

Дивлячись на діаграму можна зробити висновок дана система є стійкою оскільки не проходить точку з координатами $(-1; j0)$.

Висновки до розділу 3

В даному розділі було проведено опис різних типів регуляторів. Розроблено модель одноконтурної системи проведено експеримент для пошук та підбору оптимального регулятора для системи. Обчислено еквівалентну передавальну функцію для подальшого дослідження. Виконано перевірку на стійкість системи за критерієм Найквіста, дослідження показали, що система є стійкою. Було проведено дослідження про вхідний вплив на одноконтурну систему, дослідження показали, що звичайний регулятор не може впоратись із заданими збуреннями, тому було синтезовано нечіткий регулятор, що дозволило зробити систему стабільнішою та покращити якісні показники при випадково – амплітудному сигналі. Проведено перевірку на стійкість двох систем з вхідними сигналами: імпульсним та випадково – амплітудним обидві системи виявились стійкими за діаграмою Найквіста. Проведено дослідження про покращення системи із нечітким регулятором та трьома вхідними змінними та одним виходом. Для покращення даної системи було застосовано адаптивний – нечіткий ПІД регулятор. Було проведено навчання штучної нейромережі та знайдено найкращий результат навчання. Проведено симуляцію системи з адаптивними налаштування. Зробили висновки, що завдяки базі знань створеної штучним інтелектом нам вдалось покращити показники системи. Також систему було досліджено на стійкість, система виявилась стійкою. Було створено модель багатоконтурної системи та проведено дослідження по основному контуру та допоміжному. Вибрано регулятори. Та здійснено перевірку на стійкість за критерієм Найквіста.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ПРОЄКТУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ

4.1. Розробка створення проєкту функціональної схеми автоматизації процесу виділення бутадієну 1.3

Проектування розглядається як систематичний процес формування технічної документації, необхідної для обґрунтування, оцінки, комплектування, побудови, монтажу, налаштування та експлуатації об'єкта. Підсумком цього процесу є проєкт, який виступає основним документальним матеріалом для реалізації задуманого об'єкта.

Об'єктом проектування можуть бути житлові споруди, промислові підприємства, системи автоматизації (СА) та інші технічні комплекси, при цьому системи автоматизації належать до категорії промислових об'єктів. Проєкт промислового об'єкта включає повний комплект технічної документації, що дозволяє відтворити об'єкт у натурі з повним дотриманням технологічних, організаційних та економічних вимог. Крім того, проєкт повинен містити докази оптимальності або раціональності прийнятих рішень, що досягається шляхом багатоваріантної ітераційної процедури на всіх етапах проектування.

Основна суть цього процесу полягає у виборі найкращого варіанту з множини можливих рішень відповідно до поставлених завдань. Для цього поєднуються дві ключові процедури: генерація різноманітних варіантів та послідовне відсікання менш ефективних. Кількість можливих рішень залежить від рівня абстракції проєктних процедур: на найвищому рівні узагальнення (розробка структурних і функціональних схем) формується найменша кількість варіантів, тоді як на середньому рівні узагальнення (проектування принципів схем) кількість варіантів збільшується.

Фундаментальним технічним документом є функціональні схеми, які визначають основну структуру окремих систем ОК, регулювання автоматичного-дистанційного контролю, технологічними процесами, оснащенням ОК засобами

автоматизації, та приладами контролю.

Функціональна схема автоматизації (ФСА) займає ключове місце у сучасній інженерній практиці, особливо в розробці автоматизованих систем управління (АСУ). Під час створення ФСА реалізуються такі основні завдання: отримання первинної інформації про стан технологічного процесу (ТП) та обладнання, вплив на ТП для забезпечення його управління, стабілізація технологічних параметрів, а також моніторинг і реєстрація стану процесів і обладнання.

Рішення цих завдань ґрунтується на аналізі умов експлуатації технологічного обладнання, визначенні законів і критеріїв управління об'єктом, а також врахуванні вимог до точності стабілізації, контролю та реєстрації параметрів процесу, якості регулювання і надійності системи. Такий підхід забезпечує комплексне уявлення про функціонування АСУ та її ефективність у підтриманні технологічних процесів.

Розробка автоматизації установки абсорбції має стежити за контролем ТП, регулюванням технологічних параметрів системи з метою стабілізувати ТП. До сигналізації відносяться всі параметри, які при зміні можуть спричинити нещасні випадки та аварії на виробництві. Підсумовуючи вищесказане, у магістерській роботі були використані:

- Виконавчий механізм типу МСО – 4000/63, одоборотний.



Рис. 4.1. Виконавчий механізм МСО – 4000/63

Характеристики виконавчого механізму МСО – 4000/63.

Склад механізму: електродвигун АІР-56В4, гальмо механічне, редуктор, ручний привід, блок сигналізації, положення реостатний БСПР або індуктивний БСПІ, або струмовий БСПТ ,важіль Управління механізмом: контактне або безконтактне. Тип керуючого пристрою при безконтактному керуванні: пускач ПБР-3А або підсилювач ФЦ-0610.

- Перетворювачі.

1. Перетворювачі тиску Тиску–ПД 100-115-EXD виготовлені відповідно до стандарту ІЕС 60079-0:2011 і представляють собою пристрої з вимірювальною мембраною з нержавіючої сталі та польовим корпусом з кабельним введенням для гнучкого кабелю діаметром 6–8 мм.

Основні характеристики приладу:

- Вихідний сигнал: постійний струм 4...20 мА, двопровідне підключення.
- Вибухозахист: виконання «герметична оболонка» 1Exd ІІСТ6Gb.
- Основна похибка: 0,25 або 0,5 % G.P.I.
- Діапазон робочих температур середовища: -40...+100 °С.
- Напруга живлення: 12...36 В постійного струму.
- Опір навантаження: 0...1,0 кОм (залежно від напруги живлення).
- Споживана потужність: не більше 0,8 Вт.
- Ступінь захисту корпусу: ІР65.
- Кліматична стійкість: УХЛ3.1.
- Діапазон робочих температур навколишнього повітря: -40...+80 °С.
- Робочий атмосферний тиск: 66...106,7 кПа.
- Середній час напрацювання на відмову: $\geq 500\ 000$ годин.
- Середній термін служби: 12 років.
- Міжповірочний інтервал: 2 роки, методика перевірки - КУВФ.406230.100 МП.
- Підключення тиску: штуцер М20×1,5.
- Тип електричного з'єднувача: кабельний ввід у польовий корпус.

Ці перетворювачі забезпечують високу точність вимірювань, стійкість до впливу кліматичних факторів і надійну роботу в умовах вибухонебезпечного середовища, що робить їх придатними для промислових систем автоматизації та

моніторингу тиску.

2. Перетворювач перепаду тиску Сапфір 22 МП призначений для безперервного вимірювання та перетворення параметрів тиску - надлишкового, розрідженого, гідростатичного, а також різниці тисків нейтральних і агресивних середовищ. Пристрій забезпечує трансформацію вимірюваного параметра у уніфікований вихідний струмовий сигнал та цифровий сигнал на основі протоколу HART.

Перетворювачі застосовуються в системах автоматичного контролю, регулювання та управління технологічними процесами у різних галузях промисловості, включаючи вибухонебезпечні виробництва нафтової, газової та хімічної промисловості, об'єкти атомної енергетики, а також призначені для експортного постачання.

3. Занурювальні гідростатичні рівнеміри серії ПД100-ДГ фірми ОВЕН призначені для безперервного перетворення гідростатичного тиску рідини (тиску стовпа рідини) у уніфікований вихідний сигнал постійного струму 4...20 мА відповідно до ГОСТ 26.011-80. Дані датчики застосовуються для визначення рівня рідини занурювальним методом у системах КНС, водонапірних вежах, приймальних ємностях та аналогічних об'єктах.

Бар'єри іскрозахисту МТМ-502 та МТМ-502-02 призначені для живлення двопровідних перетворювачів, що знаходяться у вибухонебезпечних зонах (активний вхід), або для перетворення сигналів постійного струму рівня 0–5 мА, 0–20 мА, 4–20 мА (пасивний вхід) у відповідні вихідні сигнали у будь-яких комбінаціях. Пристрої забезпечують:

- Вибухозахищене виконання типу «іскробезпечний ланцюг» із маркуванням Exia ІІС.

- Гальванічне розділення вхідних та вихідних ланцюгів.

- Цифрову індикацію вимірюваного параметра та встановлених уставок світлодіодним індикатором.

- Сигналізацію досягнення верхніх та нижніх уставок рівня.

- Налаштування характеристики перетворення: лінійна або вилучення квадратного кореня (за вибором користувача).

- Збереження стану реле уставок при обриві вхідних ланцюгів.

- Налаштування вихідного струму при обриві лінії на одне з трьох значень: 2,5 мА, 21 мА або останнє значення до обриву (вибір користувача).

Таке конструктивне і функціональне рішення дозволяє забезпечити надійне і точне вимірювання рівня рідини в умовах вибухонебезпечного середовища та високих вимог до безпеки й автоматизації технологічних процесів.

- Давачі

1. Температури – ТХАУ– 0288 ХА – термоелектричний перетворювач з діапазоном температур від 0 °С – 800 °С та з такими характеристиками умовне позначення НСХ – К , напруга живлення виробу термоперетворювач із уніфікованим вихідним сигналом ТХАУ-0288 хромель-алюмінієвий – 12В- 36В, межа допустимого значення основної похибки - 1,0% -1,5%; габарити виробу термоперетворювач із уніфікованим вихідним сигналом ТХАУ-0288 хромель-алюмінієвий, довжина – 100мм-1000мм; уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА;



Рис. 4.2. ТХАУ– 0288 ХА – термоелектричний перетворювач

2. Тиску – МП4-Уф Манометри надлишкового тиску, вакуомметри і мановакуомметри призначені для вимірювання надлишкового та вакуомметричного тиску неагресивних рідин, що не кристалізуються, пари і газу, в т. ч. кисню, ацетилену.; ДКС - 200 – діафрагми камерні, що складають єдиний

конструктивний вузол з диска, ущільнювачів, плюсового та мінусового відділу камер, металевого корпусу та патрубків для відведення середовища. Конструктивні особливості дкс : типові пристрої для трубопроводів із внутрішнім розміром більше або рівні 50 мм, стандартні екземпляри на внутрішній діаметр труби до 50 мм, з конічним входом, зносостійкі дкс, з технологічною виїмкою та без розточування діаметра, габаритні та приєднувальні розміри за МІ 2638, у стандартному варіанті поставляється з двома патрубками для відведення тиску та наміченою точкою для зварювання імпульсних ліній $d = 16$ мм.

- Вторинні прилади – МТМ-РЕ160-03 – вторинний показуючий і реєструючий прилад. Період реєстрації: МТМ-РЕ-160-01 - 0.1, 0.2, .5 сек., 1-60 сек. з кроком 1 сек.; МТМ-РЕ-160-031-240 сек. з кроком 1сек. Функція і інтегрування. Регістратор МТМ-РЕ-160-01 забезпечує обчислення, зберігання та перегляд накопиченого, добового та вартового інтегрованого значення параметра в цифровій формі. Активний вхід призначений для роботи в комплекті із двопровідними перетворювачами (ДП) типів МТМ201, МТМ701, "Сапфір", "Метран" та ін., у тому числі вибухозахищеного виконання з маркуванням Ex іа ІІС Т6. Конфігурація типу входів (активний або пасивний) здійснюється підключенням вхідних ланцюгів. Вхідні ланцюги забезпечені іскробезпечним виконанням і маркуванням вибухозахисту. До них можуть підключатися датчики різних типів (за винятком МТМ-РЕ-160-01), зокрема: ТВР, ТПР, ТПП, ТХА, ТХК, ТМК, ТЖК, ТНН, ТСС, ТСП (50П, 100П), ПММ (50М, 100М), ТСН (100Н), гр21, гр23, Pt100.

Автоматична компенсація термоЕРС "свободних кінців" ТП. Вхідні сигнали 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА, 0-10 мВ, 0-100 мВ, 0-1 В (НСХ перетворення - лінійна або вилучення квадратного кореня).; ІТМ-10 – багатофункціональний індикатор з одним каналом;

- Регулятори: МІК-51Н компактний малоканальний багатофункціональний високопродуктивний мікропроцесорний контролер.

ФСА установки процесу абсорбції зниження рівня вологості газу забезпечує:

1. Дистанційне контролювання, регулювання температури в.к. виконується термоелектричним перетворювачем ТХАУ– 0288 ХА з вихідним уніфікованим

сигналом 4.00-20.00 мА, який розміщений в апараті. Наступним чином сигнал доходить в операторну через іскрозахист МТМ-502, який є розміщений на штативі до регулятора МІК-51Н[2], який знаходиться на щиті. Далі регулятор подає сигнал на ВМ МСО – 4000/63, що перебуває на лінії, котра подає теплоносій до теплообмінника.

2. Контроль на відстані, проводиться реєстрація верхнього, нижнього рівня межі розподілу фаз, реалізовується давачем ПД100-ДГ гідростатичного тиску , який знаходиться в низу колони. З давачів електричний сигнал 4-20 мА подається до операторної на штатив, де знаходиться іскробар'єр МТМ-502-02, що виконує сигналізацію верхнього та нижнього рівнів. Наступним кроком сигнал цього приладу буде подаватися на щит КВП МТМ-РЕ-160 для реєстрації та контролю.

3. Керування насосом проводиться на місці Н-1, управління виконується кнопкою «1SB4». Також може виконуватися дистанційне керування насосом за допомогою кнопки: 1SB3.

4. Контроль на відстані, проведення реєстрації витрати сировини, що надходить до колони виконується діафрагмою ДКС-200, з неї перепад тиску посилає сигнал до перетворювача Сапфір 22 МП розміщеного по місцю. Електричний сигнал з вищенаведеного приладу поступає через МТМ-502, який знаходиться на штативі та надходить до реєстратора ІТМ-10.

Висновки до розділу 4

В цьому розділі було описано важливість функціональної схеми в даній роботі. Було здійснено підбір ТЗА та наведено характеристики приладів, що будуть використовуватися у даній функціональній схемі автоматизації. Спроековано ФСА для однієї з частин технологічного процесу САК виділення 1,3-бутадієну, а саме абсорбції, осушення газу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській роботі було розглянуто сполуку бутадієн 1.3, досліджено його хімічні властивості та узагальнено шляхи використання. Проведено аналіз видобування бутадієну в промислових масштабах. Розглянули технологічний процес парового крекінгу, який використовується для створення бутадієну 1.3.

Досліджено процес створення математичної моделі та розробки структурної схеми. Проведено експеримент для зняття даних із кривої розгону. Створено структурну схему екстракційної колони та виконано її опис. Використання панелі інструментів ідентифікації для знаходження функції із найменшою кількістю похибок. Обчислення даних для додаткового контуру.

Було проведено опис різних типів регуляторів. Розроблено модель одноконтурної системи проведено експеримент для пошук та підбору оптимального регулятора для системи. Обчислено еквівалентну передавальну функцію для подальшого дослідження. Виконано перевірку на стійкість системи за критерієм Найквіста, дослідження показали, що система є стійкою. Було проведено дослідження про вхідний вплив на одноконтурну систему, дослідження показали, що звичайний регулятор не може впоритись із заданими збуреннями, тому було синтезовано нечіткий регулятор, що дозволило зробити систему стабільнішою та покращити якісні показники при випадково – амплітудному сигналі. Проведено перевірку на стійкість двох систем з вхідними сигналами: імпульсним та випадково – амплітудним обидві системи виявились стійкими за діаграмою Найквіста. Проведено дослідження про покращення системи із нечітким регулятором та трьома вхідними змінними та одним виходом. Для покращення даної системи було застосовано адаптивний – нечіткий ПІД регулятор. Було проведено навчання штучної нейромережі та знайдено найкращий результат навчання. Проведено симуляцію системи з адаптивними налаштування. Зробили висновки, що завдяки базі знань створеної штучним інтелектом нам вдалось покращити показники системи. Також систему було досліджено на стійкість, система виявилась стійкою. Було створено модель багатоконтурної системи та проведено дослідження по

основному контуру та допоміжному. Вибрано регулятори. Та здійснено перевірку на стійкість за критерієм Найквіста.

Описано важливість функціональної схеми в даній роботі. Було здійснено підбір ТЗА та наведено характеристики приладів, що будуть використовуватися у даній функціональній схемі автоматизації. Спроектовано ФСА для однієї з частин технологічного процесу САК виділення 1,3-бутадієну, а саме абсорбції, осушення газу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Peter Woolf et al. Chemical Process Dynamics and Controls. University of Michigan. 2022. 791 с.
2. Марам Гадбан. Будова та властивості бутадієну. URL: <https://study.com/learn/lesson/butadiene-structure-properties.html> (дата звернення 01.12.2022)
3. A. Hauvel and G. Lefebvre. Нафтові процеси Том 1. Institut Français du Pétrole Publications, 1989.
4. The Essential Chemical Industry. Cracking and related refinery processes. URL: <https://www.essentialchemicalindustry.org/processes/cracking-isomerisation-and-reforming.html> . (дата звернення 03.12.2022)
5. Mathworks. System Identification Toolbox. URL: <https://www.mathworks.com/> (дата звернення 03.12.2022)
6. Семенцов, Г. Н. Теорія автоматичного керування [Текст] : підручник / Г. Н. Семенцов. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 1999. – 610 с.
7. Горбійчук, М. І. Теорія автоматичного керування. Лінійні системи. [Текст]: конспект лекцій / М. І. Горбійчук. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2024. – 159 с.
8. Горбійчук, М. І. Математичні методи оптимізації [Текст]: навч. посіб. / М. І. Горбійчук. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2018. – 302 с.
9. Семенцов, Г. Н. Теорія автоматичного управління (нелінійні та дискретні системи) [Текст]: навч. посіб. / Г. Н. Семенцов, І. І. Чигур. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. – 96 с.
10. Горбійчук, М. І. Теорія автоматичного керування [Текст]: метод. вказівки до виконання курс. роботи / М. І. Горбійчук. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2021. – 57 с.
11. Семенцов, Г. Н. Теорія автоматичного управління спеціалізованими системами [Текст]: навч. посіб. / Г. Н. Семенцов, А. І. Лагойда. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. – 74 с.

ДОДАТКИ

