

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інженерно-хімічний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматизації хімічних виробництв
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 66-967

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ А.І.Жученко

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

на тему: Система керування реактором у процесі каталітичного крекінгу в псев-
дозрідженому шарі

Виконала: студентка 6 курсу, групи ЛА-71мн
(шифр групи)

_____ Захарчук Анастасія Сергіївна _____

(прізвище, ім’я, по батькові)

(підпис)

Керівник доц. каф. АХВ, к. т. н., Черьопкін Євгеній Сергійович _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інженерно-хімічний факультет

(повна назва)

Кафедра автоматизації хімічних виробництв

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою
Спеціальність 151- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

А.І.Жученко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Захарчук Анастасії Сергіївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: Система керування реактором у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі

науковий керівник дисертації Черьопкін Євгеній Сергійович доц. каф. АХВ, к. т. н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 201__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження реактор неперервної дії у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі

4. Предмет дослідження математичні моделі і системи керування реактором неперервної дії у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі

5. Перелік завдань, які потрібно розробити провести аналіз технологічного процесу каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі з точки зору завдань для системи автоматичного керування; дослідити реактор як об'єкт керування; розробити систему керування реактором у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі з використанням методів нечіткої логіки; розробити систему керування реактором з використанням нейромережевого NARMA-L2 регулятора; провести порівняльний аналіз якості роботи розроблених систем; створити стартап-проект

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу матеріали презентації для захисту магістерської дисертації

7. Орієнтовний перелік публікацій

Черьопкін Є. С., Захарчук А. С. Спосіб керування процесом каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі. Заявка на корисну модель u 2018 10938; **Захарчук А. С., Черьопкін Є. С.** Система керування процесом каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі [Текст] / А. С. Захарчук, Є. С. Черьопкін // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології [Текст]: Тези доповідей Дванадцятої науково-практичної конференції студентів. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 05–06 грудня 2018 р. [Електронний ресурс]. / 90 с. : іл. – Бібліогр.: с. 67–68 – Режим доступу: [http://ahv.kpi.ua/conferences/ASIT-2018\(winter\).pdf](http://ahv.kpi.ua/conferences/ASIT-2018(winter).pdf) – вільний. – Загол. з екрана. – Мова укр.;

Захарчук А. С., Черьопкін Є. С. Проектування бази даних для технологічного процесу каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі / А. С. Захарчук, Є. С. Черьопкін // Матеріали V Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 22 листопада 2018. [Електронний ресурс] – К: НУХТ, 2018 – 360 с. — Режим доступу: <http://nuft.edu.ua/page/view/konferentsii>;

Захарчук А. С.; Черьопкін Є. С. Постановка задачі для системи керування реактором у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі / А. С. Захарчук, Є. С. Черьопкін // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології – 2018 / Уклад. М. В. Лукінюк // Матеріали V Міжнар. Наук.-практ. конф. Молодих учених, аспірантів і студ. (АКІТ- 2018), м. Київ, 11-12 квіт. 2018 р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, В-во « Політехніка» , 2018 – 168 с.;

Захарчук А. С., Черьопкін Є. С. Моделювання системи керування реактором у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі у середовищі Simulink / А. С. Захарчук, Є. С. Черьопкін // IV Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 22 листопада 2017 р. [Електронний ресурс] – К: НУХТ, 2017 р. – 295 с.

8. Дата видачі завдання 22 січня 2019 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Провести аналіз технологічного процесу каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі з точки зору завдань для системи автоматичного керування	15.02.2019	Виконано
2	Дослідити реактор як об'єкт керування	10.03.2019	Виконано

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
3	Розробити систему керування реактором у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі з використанням методів нечіткої логіки	25.03.2019	Виконано
4	Розробити систему керування реактором з використанням нейромережевого NARMA-L2 регулятора	20.04.2019	Виконано
5	Провести порівняльний аналіз якості роботи розроблених систем	25.04.2019	Виконано
6	Створити стартап-проект	30.04.2019	Виконано

Студент

(підпис)

Захарчук А. С.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Черьопкін Є. С.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація виконана на тему “Система керування реактором у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі”, містить 70 сторінок пояснювальної записки, 22 таблиці, 31 ілюстрацію, 17 бібліографічних найменувань.

Метою роботи є дослідження ефективності використання методів нечіткої логіки та нейронних мереж для синтезу системи керування реактором у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі.

Об’єкт дослідження – реактор неперервної дії у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі.

Предмет дослідження – математичні моделі і системи керування реактором неперервної дії у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі.

В роботі було розроблено математичну модель реактора неперервної дії, виведено передатні функції за каналами керування та збурення, побудовано статичні та динамічні характеристики.

Досліджено ефективність використання методів нечіткої логіки та нейронних мереж для системи керування реактором у процесі каталітичного крекінгу.

Проведено порівняльний аналіз роботи розроблених систем з існуючими і встановлено ефективність запропонованих рішень.

Також в магістерській дисертації було розроблено стартап-проект автоматизації процесу каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі .

Ключові слова: МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, РЕАКТОР, АВТОМАТИЦІЯ, БЕНЗИН, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, НЕЧІТКА ЛОГІКА, НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ.

ABSTRACT

The master's thesis topic is «Reactor control system in the process of catalytic cracking in a fluidized bed». It contains explanatory note with 67 pages, 22 tables, 31 charts, the list of 17 bibliography references.

The main goal of the project is to investigate an effectiveness in using fuzzy logic and neural networks methods to design automated reactor control system in the process of catalytic cracking in a fluidized bed.

The main investigation object is continuous reactor in the process of catalytic cracking in a fluidized bed.

The subject of investigation are math modelling and designing continuous reactor control system in the process of catalytic cracking in a fluidized bed.

In current thesis the continuous reactor math model is developed, transfer functions is derived, as also static and dynamic-response characteristics are build up.

The efficiency analysis of fuzzy logic and neural networks methods for the reactor control system control system in the process of catalytic cracking in a fluidized bed are carried out.

The comparative analysis of using existing neural network systems is carried out and described effectiveness of the proposed solutions.

Also a startup idea of a project in the master's thesis are developed to automate the catalytic cracking process in a fluidized bed.

Keywords: AUTOMATION, CONTROL SYSTEM, FUZZY LOGIC, MATH SIMULATION, NEURAL NETWORKS, REACTOR, OIL.

ЗМІСТ

Вступ	9
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КАТАЛІТИЧНОГО КРЕКІНГУ В ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ	10
1.1. Опис технологічного процесу.....	10
1.2. Стадії процесу каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі	11
1.3. Аналіз попередніх досліджень	13
1.4. Постановка задачі.....	15
2. РЕАКТОР ЯК ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ	17
2.1. Опис об'єкта керування	17
2.2. Дослідження структурно-параметричної схеми реактора.....	19
2.3. Математична модель реактора у технологічному процесі каталітичного крекінгу	22
2.4. Моделювання статичного режиму роботи реактора	28
2.5. Моделювання динамічного режиму роботи реактора	30
2.6. Висновки до розділу 2	31
3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РЕАКТОРОМ У ПРОЦЕСІ КАТАЛІТИЧНОГО КРЕКІНГУ В ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ.....	32
3.1. Структура системи керування хімічним реактором	32
3.2. Синтез системи керування реактором у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі з використанням нечіткої логіки	34
3.3. Використання П-, ІІ- та ІІІ-регулятора для керування реактором у технологічному процесі каталітичного крекінгу.....	39
3.4. Порівняння синтезу системи керування ІІІ-регулятора та регулятора реалізованого на базі нечіткої логіки.....	42
3.5. Висновки до розділу 3	43
4. СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РЕАКТОРОМ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО NARMA-L2 РЕГУЛЯТОРА	45
4.1. Види нейромережових регуляторів	45
4.2. Система керування реактором реалізована NARMA-L2 регулятором.....	46
4.3. Висновки до розділу 4	51
5. СТВОРЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	52
5.1 Опис ідеї стартап-проекту.....	52
5.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту	53
5.3 Технологічна здійсненність ідеї проекту.....	53
5.4 Характеристика потенційних клієнтів.....	54
5.5 Фактори загроз.....	55

5.6. Фактори можливостей.....	56
5.7. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку	56
5.8. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером	57
5.9. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності	58
5.10. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Процесу каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі».....	58
5.11. SWOT – аналіз стартап-проекту.....	59
5.12. Вибір цільових груп потенційних споживачів.....	60
5.13. Визначення базової стратегії розвитку	60
5.14. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки	61
5.15. Визначення стратегії позиціонування	62
5.16. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару	62
5.17. Визначення меж встановлення ціни	62
5.18. Формування системи збуту.....	63
5.19. Концепція маркетингових комунікацій.....	63
5.20. Опис трьох рівнів моделі товару	64
ВИСНОВКИ.....	65
ЛІТЕРАТУРА.....	67

Вступ

Процес каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі є одним з найпоширеніших у нафтопереробній промисловості для перетворення важкого газойлю на бензин та дизельне паливо. Крім того, під час даного виробництва, додатково можна отримати цінні гази, такі як етилен, пропілен та ізобутилен.

У відповідності до сучасних тенденцій в напрямку підвищення продуктивності та ефективності технологічних процесів, постає актуальна наукова задача дослідження можливостей використання сучасних методів керування для даного технологічного процесу з метою отримання якіснішого продукту та зменшення виробничих витрат. Ще однією з можливих переваг вирішення даної задачі є можливість зменшення дії людського фактору, що сприятиме підвищенню рівня безпеки на виробництві.

Крім того, автоматизація даного виробництва дає змогу дистанційно контролювати перебіг процесів в апаратах та керувати необхідними діями, контролювати та реєструвати режимні параметри процесу.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КАТАЛІТИЧНОГО КРЕКІНГУ В ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ

1.1. Опис технологічного процесу

Ключовим процесом переробки нафти та нафтових фракцій є процес каталітичного крекінгу. Він набув свого поширення у 30-х роках XX століття та активно розвивається і надалі в США та країнах Європи. Перевагою, а також і складністю даного процесу є те, що він проходить за високих температур, що дає можливість перероблювати важкі фракції нафти, але водночас підвищує складність керування [1].

Основна задача технологічного процесу полягає у перетворенні важких вуглеводневих нафтових фракцій у більш широкий асортимент продукції, таких як бензин, дизельне паливо, важкий та легкий газойль. Крім того, виробляються цінні гази, такі як етилен, пропілен і ізобутилен.

Контроль над процесом був і продовжує залишатися складною технологічною проблемою. Його поведінка в стаціонарному стані є дуже нелінійною. У попередні роки, перед розробкою цеолітових каталізаторів, головною проблемою контролю була стабілізація роботи установки, тобто підтримка її роботи на заданому рівні. Пізніше, після отримання даних каталізаторів, акцент змістився на збільшення виробничих норм в умовах обмеження ресурсів та обробці важкої сировини. Основні реакції, які відбуваються у процесі є крекінг, ізомеризація, перенесення водню та олігомеризація.

Процес каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі проходить у двох взаємопов'язаних апаратах — реакторі та регенераторі з газо-твердим киплячим шаром. В даних апаратах проходять реакції ендотермічного крекінгу і осадження коксу на каталізаторі. За рахунок використання повітря відбувається спалювання коксу, що накопичується. Отримане тепло передається каталізатором з регенератора в реактор. Таким чином, регенератор забезпечує теплоту, необхідну для реакцій ендотермічного крекінгу.

Економічні затрати, що пов'язані з протіканням даного технологічного процесу, залежать від умов експлуатації, якості сировинних запасів та каталізатора і завдань по якості кінцевого продукту.

1.2. Стадії процесу каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі

У технологічному процесі, що розглядається, сировиною для отримання цільового продукту є вакуумний газойль. Оскільки він відноситься до важких фракції нафтопродукції, процес проходить під дією високих температур [2].

Принципова схема процесу каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі зображена на рисунку 1.2.1.

Даний технологічний процес можна розділити на такі стадії:

1. нагрівання сировини, газойлю, у трубчастій печі;
2. процес каталітичного крекінгу сировини у реакторі з використанням каталізатора;
3. розділення отриманих після реакції продуктів;
4. відновлення відпрацьованого каталізатора у регенераторі.

На першій стадії процесу сировина надходить у трубчасту піч та попередньо нагрівається до температури 400 °С.

На другій стадії, нагріта сировина, разом із каталізатором, що має температуру 500...800 °С, надходить у реактор, для процесу каталітичного крекінгу. Додатково, у ректор, подається водяна пара за температури 280...320 °С. Тиск суміші, яка надходить у регенератор повинен бути в діапазоні 0,4...1 МПа. Час проходження реакції становить 2...4 секунди.

На третій стадії продукти реакції надходять на подальше розділення. На виході з реактора, вони проходять сепаратор, який не дозволяє мікросферичним частинкам каталізатора потрапляти у ректифікаційну колону.

Тим часом, на четвертій стадії, каталізатор надходить у відпарну колону, де попередньо відпарюється водяною парою від вуглеводнів (під час даного процесу можуть утворитись продукти реакції, вони повертаються у реактор). Після відпарювання важкий каталізатор разом з коксом потрапляють у регенератор на очищення. Вуглеводні надходять у котел-утилізатор, а каталізатор, який неперервно циркулює у процесі, знову потрапляє у реактор.

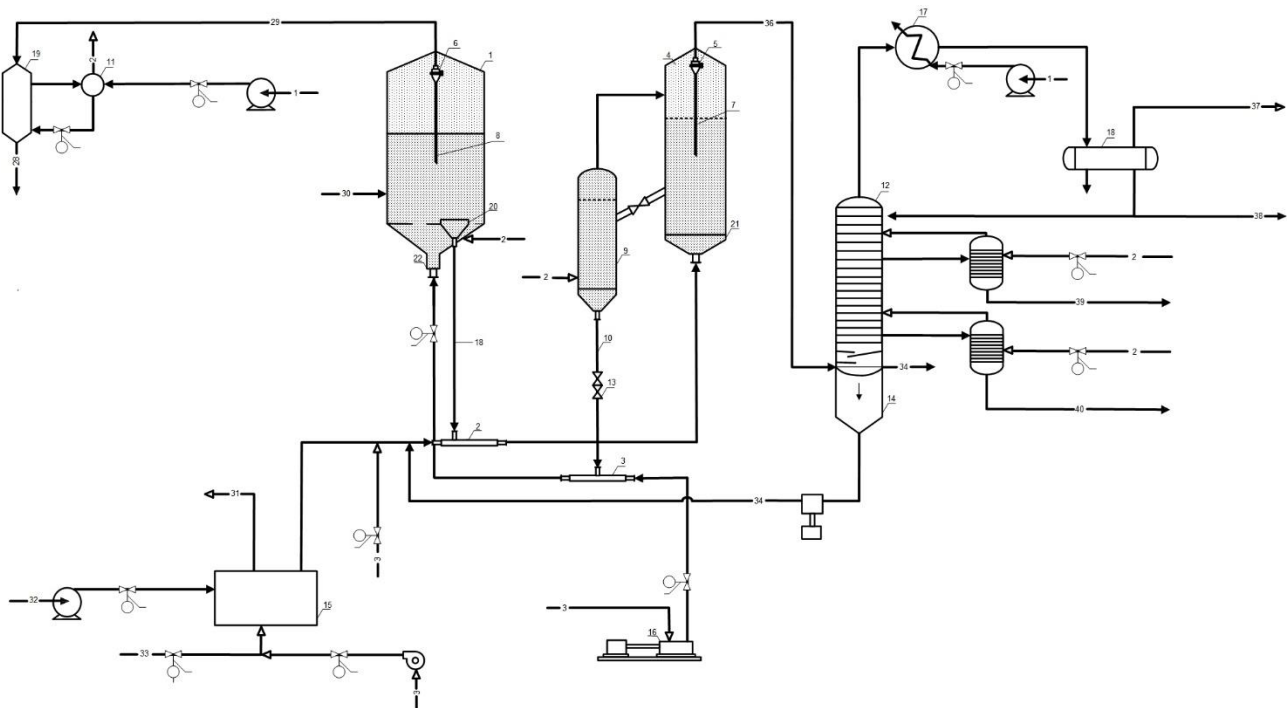


Рис. 1.2.1 Принципова схема процесу каталітичного крекінгу

1 – регенератор; 2,3 – вузол зміщення реактора; 4 – реактор; 5,6 – сепаратор; 7,8 – внутрішній стояк реактора; 9 – відпарник; 10 – стояк відпарника; 11 – паровий барабан; 12 – ректифікаційна колона; 13 – шибєр; 14 – відстійна частина ректифікаційної колони; 15 – трубчаста піч; 16 – повітрорудувка; 17 – холодильник-конденсатор; 18 – газосепаратор; 19 – котел-утилізатор; 20 – резервуар; 21,22 – решітка реактора, регенератора. Нумерація трубопроводів: 1 – вода; 2 – пара; 3 – повітря; 28 – суміш у пилевідділенні; 29 – гази регенерації; 30 – уловлений каталізатор; 31 – димові гази; 32 – сировина; 33 – газ; 34 – рециркулюючий газойль; 35 – відстояний від пилу важкий каталітичний газойль; 36 – продукти реакції; 37 – жирний газ; 38 – нестабільний бензин; 39 – легкий керосин; 40 – легкий газойль.

1.3. Аналіз попередніх досліджень

В ході підготовчої роботи було проведено огляд літератури за темою дослідження і виконано аналіз знайдених рішень.

У роботі [3] розглядаються питання, які відносяться до розробки математичної моделі та синтезу системи керування з використанням прогнозуючих моделей. В якості керованого параметру розглядається температура в середині реактора, що має забезпечити протікання реакції в оптимальних умовах.

Прогнозування реактора у даній роботі складається з двох частин: моделі процесу та модуля оптимізації процесу. Перши представлена у форматі вхід-вихід. Також визначена спрощена модель каталітичного крекінгу і розроблена схема її ідентифікації, рисунок 1.3.1.

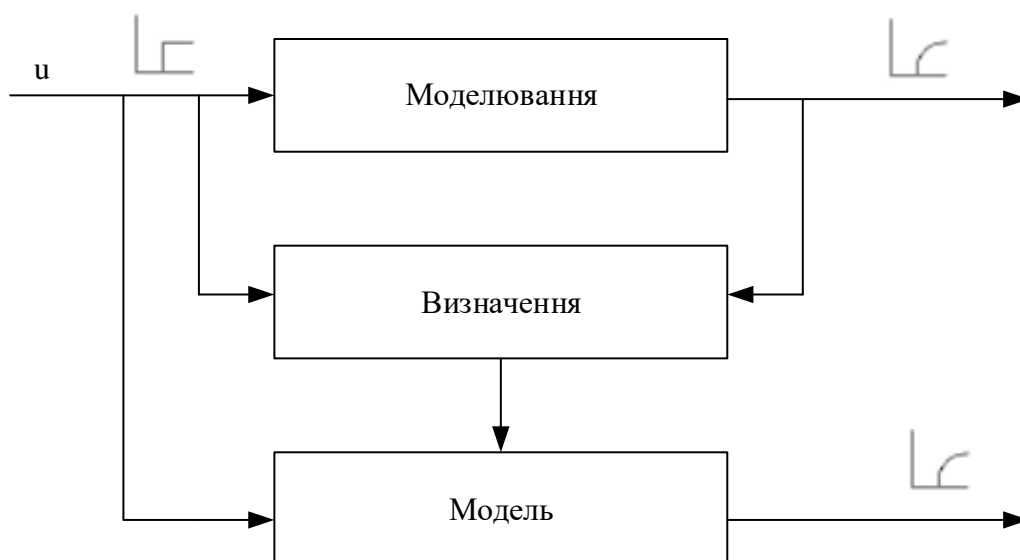


Рис. 1.3.1 – Схема ідентифікації процесу каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі

Запропонований метод ідентифікації складається з трьох основних етапів: створення структурної схеми процесу (рисунок 1.3.2); визначення передатної функції об'єкта керування, в даному випадку передатна функція керування виступає аперіодичною ланкою I-го порядку без запізнення; визначення параметрів передатної функції.

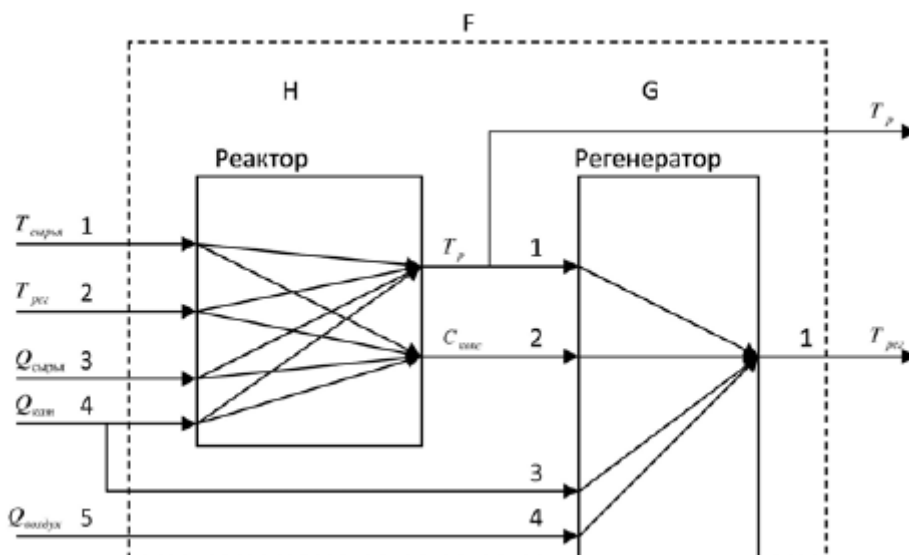


Рис. 1.3.2 – Структурна схема процесу каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі:

$T_{\text{сиров}}$ – це температура сировини; T_p , $T_{\text{рег}}$ – температура в реакторі і регенераторі відповідно; $C_{\text{кокс}}$ – масова частка коксу на каталізаторі; $Q_{\text{сиров}}$, $Q_{\text{кат}}$, $Q_{\text{пов}}$ – витрати сировини, каталізатора і повітря відповідно.

В ході моделювання запропонованої системи керування отримано динамічні характеристики температур та витрат каталізатора в реакторі, а також повітря в регенераторі. Система керування не чутлива до збурень, але збільшення періоду дискретизації призводить до збільшення часу перехідного процесу.

У роботі [4] розглядаються система з двома входами та двома виходами (вхідні: витрата каталізатора та витрата повітря, вихідні: температура реактора та регенератора).

Основною ідеєю роботи є використання додаткових контролерів для компенсації процесів взаємодії.

Головною метою розробки системи керування в даній роботі синтез ПІ-регулятора для керування температурою в реакторі та регенераторі.

У роботі [5] проведений аналіз фізико-хімічних основ отримання бензину процесом каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі. Визначено основний об'єкт технологічного процесу – реактор неперервної дії, де проходить основна реакція процесу переробки газойлю у бензин.

В роботі було вирішено наступні задачі:

- розроблена схема автоматичного контролю технологічного процесу;
- розроблена математична модель реактора, як основного об'єкта регулювання;
- налаштовано систему керування концентрацією бензину на виході з використанням методів Циглера-Нікольса, перехідного режиму, інтерактивного середовища MATLAB SISOTool та Simulink.

На основі проведеного аналізу робіт можна зробити наступні висновки:

1. Основним апаратом даного технологічного процесу є реактор безперервної дії, де відбувається процес крекінгу.
2. Аналіз роботи [3, 4] показав, що питання керування температурним режимом реактора можна вважати вирішеним з огляду на використання найсучасніших рішень в даній області.
3. Аналіз роботи [5] показав перспективи підвищення якості даного технологічного процесу шляхом розробки більш досконалих систем керування концентрацією вихідного продукту за рахунок керування витратами вхідних компонентів.

1.4. Постановка задачі

У результаті аналізу попередніх робіт прийнято рішення не розглядати систему керування температурою у реакторі та регенераторі, тому що синтез процесу каталітичного крекінгу з використанням прогнозуючих моделей та багато-контурне управління реалізоване ПІ-регулятором повністю описують оптимальне керування температурою в апаратах.

Однак, для підвищення якості готової продукції із відповідними фізико-хімічними показниками можливо розробити нову систему керування вхідними потоками з використанням сучасних методів та алгоритмів.

На основі цього, були сформульовані основні задачі дисертаційного дослідження:

- проаналізувати можливість використання нечіткого регулятора та дослідити якість перехідних процесів у системі, що розглядається;
- провести дослідження впливу використання регулятора витрат основного потоку газойлю на стабілізацію концентрації цільового продукту;
- провести дослідження ефективності використання каскадної системи керування для стабілізації кінцевої концентрації цільового продукту;
- провести дослідження ефективності використання нейронних мереж для процесу каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі.

2. РЕАКТОР ЯК ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ

2.1. Опис об'єкта керування

Проаналізувавши процес каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі, встановлено, що ключовим апаратом від ефективності роботи якого в найбільшій мірі залежить якість кінцевого продукту є реактор. Саме тому його обрано у якості основного об'єкта керування.

В даному технологічному процесі використовується реактор з киплячим шаром каталізатора конструкції 1А/1М, 43-103 [6]. Мікросферичний каталізатор надходить у реактор разом із сировиною та парою. Відпрацьований, із залишками сировини, виходить з реактора та потрапляє у регенератор через відпарник. У регенераторі каталізатор відновлює свої властивості завдяки реакції, яка проходить у киплячому шарі. Після чого він повертається назад до реактора, а шкідливі домішки потрапляють у котел-утилізатор на розділення.

Каталізатор надходить в реактор загальним потоком. Перпендикулярно напрямку його руху подається пара та сировина. Загальний час реакції становить 2...5 секунд. Після завершення, отримується вихідний продукт з концентрацією 60...80 %, залежно від якості сировини і параметрів реакції, та каталізатор.

У відповідності до особливостей реактора з киплячим шаром каталізатора, процеси крекінгу і регенерації відбуваються в різних апаратах. Сама реакція відбувається у контактному апараті. Регенерація – в майже аналогічній за конструкцією установці.

Характерною особливістю даного технологічного процесу є постійна циркуляція каталізатора між реактором і регенератором.

В якості об'єкту математичного моделювання, в даній роботі, було визначено реактор (контактний апарат). Його параметрична схема зображена на рисунку 2.1.1.

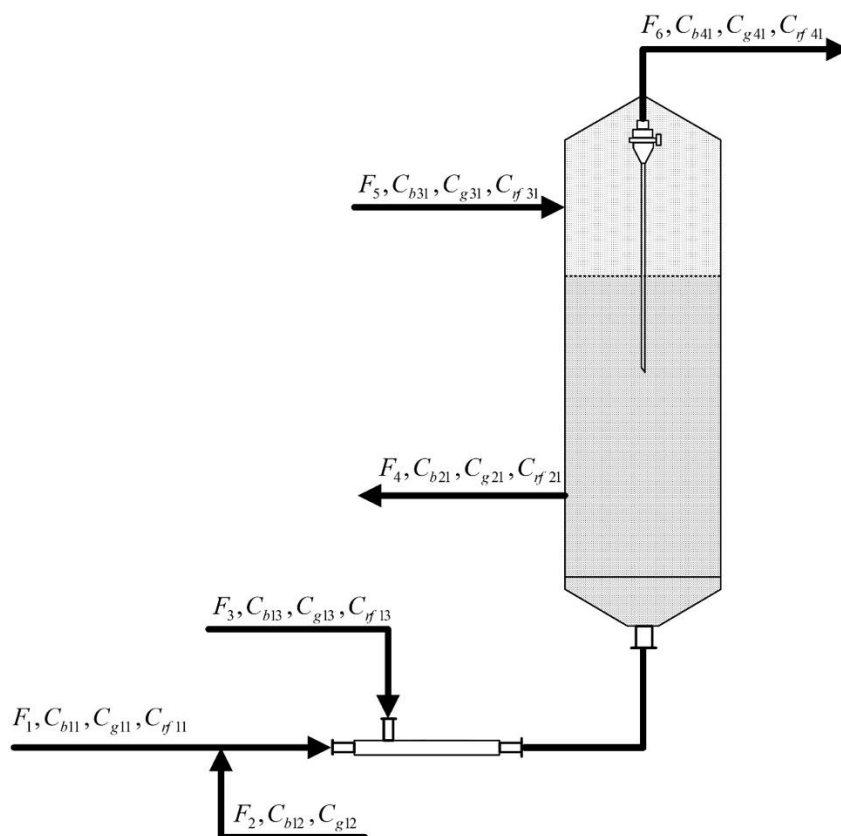


Рис. 2.1.1 – Параметрична схема реактора у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі:

F_1 – витрата вхідного газойлю, C_{b11} – концентрація бензину потоці газойлю F_1 , C_{g11} – концентрація газойлю в потоці F_1 , C_{rf11} – концентрація решти фракцій в потоці F_1 , F_2 – витрата поверненого газойлю та бензину, C_{b12} – концентрація поверненого бензину в потоці F_2 , C_{g12} – концентрація поверненого газойлю в потоці F_2 , F_3 – витрата решти фракцій, C_{b13} – концентрація бензину в потоці F_3 , C_{g13} – концентрація газойлю в потоці F_3 , C_{rf13} – концентрація решти фракцій в потоці F_3 , F_4 – витрата вихідної суміші з реактора, C_{b21} – концентрація бензину в потоці F_4 , C_{g21} – концентрація газойлю в потоці F_4 , C_{rf21} – концентрація решти фракцій в потоці F_4 , F_5 – витрата суміші, що надходить у реактор, C_{b31} – концентрація бензину в потоці F_5 , що надходить у реактор, C_{g31} – концентрація газойлю в потоці F_5 , C_{rf31} – концентрація в потоці F_5 , F_6 – витрата кінцевого продукту, C_{b41} – концентрація бензину у вихідному потоці F_6 , C_{g41} – концентрація газойлю у потоці F_6 , C_{rf41} – концентрація решти фракцій у F_6

2.2. Дослідження структурно-параметричної схеми реактора

Для математичного моделювання даного реактора було розроблено спрощений варіант параметричної схеми з відображенням можливих каналів керування та збурення. Дана схема зображена на рисунку 2.2.1.

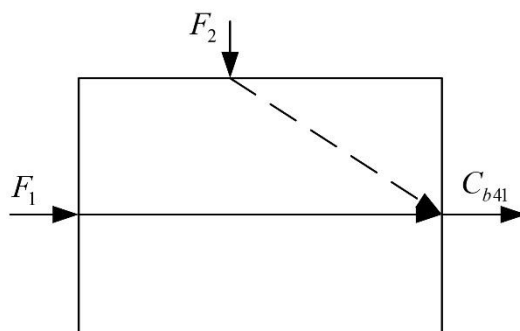


Рис. 2.2.1 – Структурно-параметрична схема реактора у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі:

F_1 – витрата газойлю, що надходить в реактор, F_2 – витрата поверненого газойлю та бензину, що потрапляють в реактор, C_{b4l} – концентрація бензину у потіці цільового продукту

Для побудови статичних характеристик за двома вищенаведеними каналами були задані параметри нормальної роботи установки, що наведені у таблиці 2.2.1.

Таблиця 2.2.1 – Основні параметри статичного режиму

№ п/п	Назва параметру	Позначення (ідентифікатор)	Одиниця ви- мірювання	Значення
1.	Витрата газойлю, що надходить в реактор	F_1	кг/с	1,6
2.	Витрата поверненого газойлю та бензину, що надходять в реактор	F_2	кг/с	0,4
3.	Витрата решти фракцій, що надходить в реактор	F_3	кг/с	5,76

№ п/п	Назва параметру	Позначення (іде- нтифікатор)	Одиниця вимі- рювання	Значення
4.	Витрата суміші, що надходить у відпарник із реактора	F_4	кг/с	3,8
5.	Витрата суміші, що надходить у реактор із відпарника	F_5	кг/с	3,8
6.	Витрата продуктів реакції на виході із реактора (бензин, газойль, решта фракцій)	F_6	кг/с	7,76
7.	Концентрація бензину в основному потоці газойлю	C_{b11}	кг/кг	0
8.	Концентрація газойлю в основному потоці	C_{g11}	кг/кг	1
9.	Концентрація решти фракцій в основному потоці	C_{rf11}	кг/кг	0
10.	Концентрація поверненого бензину в потоці	C_{b12}	кг/кг	0,2
11.	Концентрація поверненого газолу в потоці	C_{g12}	кг/кг	0,8
12.	Концентрація бензину в потоці решти фракцій	C_{b13}	кг/кг	0
13.	Концентрація газойлю в потоці решти фракцій	C_{g13}	кг/кг	0
14.	Концентрація решти фракцій в потоці решти фракцій	C_{rf13}	кг/кг	1
15.	Концентрація бензину в потоці, що надходить із реактора у відпарник	C_{b21}	кг/кг	0,2

№ п/п	Назва параметру	Позначення (ідентифікатор)	Одиниця ви- мірювання	Значення
16.	Концентрація газойлю в потоці, що надходить із реактора у відпарник	C_{g21}	кг/кг	0,5
17.	Концентрація решти фракцій в потоці, що надходить із реактора у відпарник	C_{rf21}	кг/кг	0,3
18.	Концентрація бензину в потоці, що надходить із відпарника у реактор	C_{b31}	кг/кг	0,5
19.	Концентрація газойлю в потоці, що надходить із відпарника у реактор	C_{g31}	кг/кг	0,3
20.	Концентрація решти фракцій в потоці, що надходить із відпарника у реактор	C_{rf31}	кг/кг	0,2
21.	Концентрація бензину у вихідному потоці	C_{b41}	кг/кг	0,7
22.	Концентрація газойлю у вихідному потоці	C_{g41}	кг/кг	0,1
23.	Концентрація решти фракцій у вихідному потоці	C_{rf41}	кг/кг	0,2
24.	Об'єм реактора	V	м ³	19,625
25.	Густина суміші у реакторі	ρ	кг/м ³	0,95
26.	Швидкість реакції	ω_{gb}	с ⁻¹	0,2

2.3. Математична модель реактора у технологічному процесі каталітичного крекінгу

За основу для математичного моделювання процесів, що відбуваються у реакторі було використано рівняння матеріальних балансів по газойлю, решті фракцій та бензину. На їх основі було виведено диференційні рівняння, що описують динаміку зміни технологічних параметрів у часі [7]. Після чого отримано передатні функції за усіма каналами та визначено канали керування та збурення [8].

Згідно з параметричної схеми реактора, виведено рівняння статички матеріального балансу [9]:

$$F_I - F_{II} + F_{III} - F_{IV} = 0; \quad (2.3.1)$$

$$\text{де } F_I = F_1 + F_2 + F_3; \text{ а } F_3 = (F_1 C_{g11} + F_2 C_{g12}) a_1;$$

a_1 – коефіцієнт перерозподілу витрати фракцій на сировину.

В результаті отримано систему рівнянь:

$$F_I = F_1 + F_2 + (F_1 C_{g11} + F_2 C_{g12}) a_1; \quad (2.3.2)$$

$$F_{II} = F_4;$$

$$F_{III} = F_5;$$

$$F_{IV} = F_6.$$

Під час математичного моделювання було висунуто припущення, що концентрації потоків сумарно мають значення 1:

$$C_{b12} + C_{g12} = 1; \quad (2.3.3)$$

$$C_{g21} + C_{b21} + C_{rf21} = 1;$$

$$C_{g31} + C_{b31} + C_{rf31} = 1;$$

$$C_{g41} + C_{b41} + C_{rf41} = 1.$$

Після підстановки системи (2) в рівняння (1), отримаємо (2.3.4):

$$F_1 + F_2 + (F_1 + F_2 C_{g12}) \cdot a_1 - F_4 + F_5 - F_6 = 0; \quad (2.3.4)$$

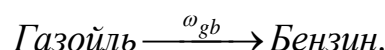
Таким чином отримано рівняння статичного матеріального балансу.

Вигляд математичної моделі динаміки процесу наступний:

$$F_1(t) + F_2(t) + (F_1(t) + F_2(t) C_{g12}) \cdot a_1 - F_4(t) + F_5(t) - F_6(t) = M(t); \quad (2.3.5)$$

$M(t)$ – маса закумульованої речовини.

Формула хімічного перетворення:



Рівняння кінетики мають вигляд:

$$\frac{dC_g(t)}{dt} = \frac{1}{\Theta_1} (C_{gI}(t) - C_g(t)) - \omega_{gb} C_g(t) + \frac{1}{\Theta_2} (C_{g31}(t) - C_g(t)); \quad (2.3.6)$$

$$\frac{dC_b(t)}{dt} = \frac{1}{\Theta_1} (C_{bI}(t) - C_b(t)) + \omega_{gb} C_g(t) + \frac{1}{\Theta_2} (C_{b31}(t) - C_b(t)).$$

Виразимо рівняння (2.3.5) за основними компонентами:

- бензин:

$$F_2(t) C_{b12}(t) - F_3(t) C_{b21}(t) + F_4(t) C_{b31}(t) - F_5(t) C_{b41}(t) = V \rho \frac{dC_{b41}(t)}{dt}; \quad (2.3.7)$$

- газойль:

$$F_1(t) + F_2(t) C_{g12}(t) - F_3(t) C_{g21}(t) + F_4(t) C_{g31}(t) - F_5(t) C_{g41}(t) = V \rho \frac{dC_{g41}(t)}{dt};$$

- решта фракцій:

$$F_1(t) + F_2(t) C_{g12}(t) a_1 - F_3(t) C_{rf21}(t) + F_4(t) C_{rf31}(t) - F_5(t) C_{rf41}(t) = V \rho \frac{dC_{rf41}(t)}{dt}.$$

Об'єднавши рівняння (2.3.6) та (2.3.7), отримано систему масообмінного процесу хімічного реактора.

Виразивши змінні концентрації, отримано рівняння (2.3.8):

$$\begin{aligned} & \frac{F_2(t)C_{b12}(t) - F_3(t)C_{b21}(t) + F_4(t)C_{b31}(t) - F_5(t)C_{b41}(t) + \frac{1}{\Theta_1}(C_{bl}(t) - C_{b41}(t)) + \omega_{gb}C_{g41}(t) +}{V\rho} \\ & + \frac{\frac{1}{\Theta_2}(C_{b31}(t) - C_{b41}(t))}{V\rho} = \frac{dC_{b41}(t)}{dt}; \\ & \frac{F_1(t) + F_2(t)C_{g12}(t) - F_3(t)C_{g21}(t) + F_4(t)C_{g31}(t) - F_5(t)C_{g41}(t) + \frac{1}{\Theta_1}(C_{gl}(t) - C_{g41}(t)) - \omega_{gb}C_{g41}(t)}{V\rho} + \\ & + \frac{\frac{1}{\Theta_2}(C_{g31}(t) - C_{g41}(t))}{V\rho} = \frac{dC_{g41}(t)}{dt}; \\ & \frac{(F_1(t) + F_2(t)C_{g12}(t))a_1 - F_3(t)C_{rf21}(t) + F_4(t)C_{rf31}(t) - F_5(t)C_{rf41}(t)}{V\rho} = \frac{dC_{rf41}(t)}{dt}. \end{aligned}$$

Записуємо матеріальний баланс за концентрацією бензину:

$$F_l(t)C_{bl}(t) = F_1(t)C_{b11}(t) + F_2(t)C_{b12}(t).$$

Із попереднього рівняння отримано $C_{bl}(t)$:

$$C_{bl}(t) = \frac{F_1(t)C_{b11}(t) + F_2(t)C_{b12}(t)}{F_1(t) + F_2(t) + F_3(t)}. \quad (2.3.9)$$

В результаті отримуємо загальне рівняння (2.3.10):

$$\begin{aligned} & \frac{F_2(t)C_{b12}(t) - F_3(t)C_{b21}(t) + F_4(t)C_{b13}(t) - F_5(t)C_{b41}(t)}{V\rho} + \frac{1}{\Theta_1} \left(\frac{F_1(t)C_{b11}(t) + F_2(t)C_{b12}(t)}{F_1(t) + F_2(t) + F_3(t)} - C_{b41}(t) \right) + \\ & + \omega_{gb}C_{g41}(t) + \frac{1}{\Theta_2}(C_{b31}(t) - C_{b41}(t)) = \frac{dC_{b41}(t)}{dt}; \end{aligned}$$

Подаємо рівняння (2.3.10) у приростах (2.3.11):

$$\begin{aligned}
& \frac{\Delta F_2(t)C_{b12_0} + \Delta C_{b12}(t)F_{2_0} - \Delta F_3(t)C_{b21_0} - \Delta C_{b21}(t)F_{3_0} + \Delta F_4(t)C_{b31_0} + \Delta C_{b31}(t)F_{4_0}}{V\rho} \\
& - \frac{\Delta F_5(t)C_{b41_0} + \Delta C_{b41}(t)F_{5_0}}{V\rho} + \omega_{gb}\Delta C_{g41}(t) + \frac{1}{\Theta_2}(\Delta C_{b31}(t) - \Delta C_{b41}(t)) + \frac{1}{\Theta_1} \frac{F_{1_0}\Delta C_{b11}(t) +}{F_{1_0} + F_{2_0} + F_{3_0}} \\
& + \frac{F_{2_0}\Delta C_{b12}(t)}{F_{1_0} + F_{2_0} + F_{3_0}} + \frac{1}{\Theta_1} \frac{\partial(\frac{F_1(t)C_{b11}(t) + F_2(t)C_{b12}(t)}{F_1(t) + F_2(t) + F_3(t)})}{\partial F_1(t)} \bigg|_{t=0} \Delta F_1(t) + \frac{1}{\Theta_1} \frac{\partial(\frac{F_1(t)C_{b11}(t) + F_2(t)C_{b12}(t)}{F_1(t) + F_2(t) + F_3(t)})}{\partial F_2(t)} \bigg|_{t=0} \\
& \Delta F_2(t) + \frac{1}{\Theta_1} \frac{\partial(\frac{F_1(t)C_{b11}(t) + F_2(t)C_{b12}(t)}{F_1(t) + F_2(t) + F_3(t)})}{\partial F_3(t)} \bigg|_{t=0} \Delta F_3(t) - \frac{1}{\Theta_1} \Delta C_{b41}(t) = \frac{d\Delta C_{b41}(t)}{dt};
\end{aligned}$$

позначимо:

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{\Theta_1} \frac{\partial(\frac{F_1(t)C_{b11}(t) + F_2(t)C_{b12}(t)}{F_1(t) + F_2(t) + F_3(t)})}{\partial F_1(t)} \bigg|_{t=0} = a_1; \\
& \frac{1}{\Theta_1} \frac{\partial(\frac{F_1(t)C_{b11}(t) + F_2(t)C_{b12}(t)}{F_1(t) + F_2(t) + F_3(t)})}{\partial F_2(t)} \bigg|_{t=0} = a_2; \\
& \frac{1}{\Theta_1} \frac{\partial(\frac{F_1(t)C_{b11}(t) + F_2(t)C_{b12}(t)}{F_1(t) + F_2(t) + F_3(t)})}{\partial F_3(t)} \bigg|_{t=0} = a_3.
\end{aligned} \tag{2.3.12}$$

З урахуванням системи рівнянь (2.3.12), рівняння (2.3.11) приймає вигляд:

$$\begin{aligned}
& \frac{\Delta F_2(t)C_{b12_0} + \Delta C_{b12}(t)F_{2_0} - \Delta F_3(t)C_{b21_0} - \Delta C_{b21}(t)F_{3_0} + \Delta F_4(t)C_{b31_0} + \Delta C_{cb31}(t)F_{4_0}}{V\rho} \\
& - \frac{\Delta F_5(t)C_{b41_0} + \Delta C_{b41}(t)F_{5_0}}{V\rho} + \omega_{gb}\Delta C_{g41}(t) + \frac{1}{\Theta_2}(\Delta C_{b31}(t) - \Delta C_{b41}(t)) + \frac{1}{\Theta_1} \frac{F_{1_0}\Delta C_{b11}(t) +}{F_{1_0} + F_{2_0} + F_{3_0}} \\
& + \frac{F_{2_0}\Delta C_{b12}(t)}{F_{1_0} + F_{2_0} + F_{3_0}} + a_1\Delta F_1(t) + a_2\Delta F_2(t) + a_3\Delta F_3(t) - \frac{1}{\Theta_1} \Delta C_{b41}(t) = \frac{d\Delta C_{b41}(t)}{dt};
\end{aligned}$$

Згрупувавши доданки з $\Delta C_{b41}(p)$, отримано рівняння (2.3.13):

$$\frac{\Delta F_2(p)C_{b12_0} + \Delta C_{b12}(p)F_{2_0} - \Delta F_3(p)C_{b21_0} - \Delta C_{b21}(p)F_{3_0} + \Delta F_4(p)C_{31_0} + \Delta C_{31}(p)F_{4_0}}{V\rho} -$$

$$- \frac{C_{b41_0}}{V\rho} \Delta F_5(p) + \omega_{gb} \Delta C_{g41}(p) + \frac{1}{\Theta_2} \Delta C_{b31}(p) + \frac{1}{\Theta_1} \frac{F_{1_0} \Delta C_{b11}(p) + F_{2_0} \Delta C_{b12}(p)}{F_{1_0} + F_{2_0} + F_{3_0}} + a_1 \Delta F_1(p) +$$

$$+ a_2 \Delta F_2(p) + a_3 \Delta F_3(p) = (p + \frac{1}{\Theta_1} + \frac{1}{\Theta_2} + \frac{F_{5_0}}{V\rho}) \Delta C_{b41}(p);$$

З отриманих рівнянь можна отримати передатні функції за каналами «концентрація бензину у потоці цільового продукту – витрата газойлю, що надходить в реактор» та «концентрація бензину у потоці цільового продукту – витрата поверненого газойлю та бензину, що потрапляють в реактор».

Передатна функція за каналом завдання–вихід («витрата газойлю, що надходить в реактор – концентрація бензину у потоці цільового продукту») виглядатиме (2.3.14):

$$W_{\Delta F_1(p) \rightarrow \Delta C_{b41}(p)} = \frac{\Delta C_{b41}(p)}{\Delta F_1(p)} = \frac{a_1}{p + \frac{1}{\Theta_1} + \frac{1}{\Theta_2} + \frac{F_{5_0}}{V\rho}} = \frac{\frac{a_1}{\frac{1}{\Theta_1} + \frac{1}{\Theta_2} + \frac{F_{5_0}}{V\rho}}}{\frac{1}{\frac{1}{\Theta_1} + \frac{1}{\Theta_2} + \frac{F_{5_0}}{V\rho}} p + 1} = \frac{K_1}{Tp + 1},$$

$$\text{де } T = \frac{a_1}{\frac{1}{\Theta_1} + \frac{1}{\Theta_2} + \frac{F_{5_0}}{V\rho}}.$$

Знайдемо значення a_1 з рівняння (2.3.12):

$$a_1 = \frac{1}{\Theta_1} \frac{\partial \left(\frac{F_1(t)C_{b11}(t) + F_2(t)C_{b12}(t)}{F_1(t) + F_2(t) + F_3(t)} \right)}{\partial F_1(t)} \bigg|_{t=0} = \frac{1}{\Theta_1} \frac{\frac{\partial F_1(t)C_{b11}(t) + F_2(t)C_{b12}(t)}{\partial F_1(t)} (F_1(t) + F_2(t) + F_3(t))}{(F_1(t) + F_2(t) + F_3(t))^2} \bigg|_{t=0} -$$

$$- \frac{1}{\Theta_1} \frac{\frac{\partial F_1(t) + F_2(t) + F_3(t)}{\partial F_1(t)} (F_1(t)C_{b11}(t) + F_2(t)C_{b12}(t))}{(F_1(t) + F_2(t) + F_3(t))^2} \bigg|_{t=0} =$$

$$= \frac{1}{\Theta_1} \frac{C_{b11_0}(F_{1_0} + F_{2_0} + F_{3_0}) - (F_{1_0}C_{b11_0} + F_{2_0}C_{b12_0})}{(F_{1_0} + F_{2_0} + F_{3_0})^2};$$

А коефіцієнт K_1 з рівняння (2.3.14) набуває вигляду:

$$K_1 = \frac{C_{b11_0}(F_{1_0} + F_{2_0} + F_{3_0}) + (F_{1_0}C_{b11_0} + F_{2_0}C_{b12_0})}{\Theta_1(F_{1_0} + F_{2_0} + F_{3_0})^2 \frac{1}{\Theta_1} + \frac{1}{\Theta_2} + \frac{F_{5_0}}{V\rho}}.$$

Передатна функція за каналом збурення – вихід («витрата поверненого газойлю та бензину, що потрапляють в реактор – концентрація бензину у потоці цільового продукту») матиме вигляд:

$$W_{\Delta F_2(p) \rightarrow \Delta C_{b41}(p)} = \frac{\Delta C_{b41}(p)}{\Delta F_2(p)} = \frac{C_{b12_0} + a_2}{p + \frac{1}{\Theta_1} + \frac{1}{\Theta_2} + \frac{F_{5_0}}{V\rho}} = \frac{\frac{C_{b12_0} + a_2}{\frac{1}{\Theta_1} + \frac{1}{\Theta_2} + \frac{F_{5_0}}{V\rho}}}{\frac{1}{\frac{1}{\Theta_1} + \frac{1}{\Theta_2} + \frac{F_{5_0}}{V\rho}} p + 1} = \frac{K_2}{Tp + 1},$$

де $K_2 = (C_{b12_0} + a_2)T$.

Знаходимо значення a_2 з рівняння (2.3.12):

$$a_2 = \frac{1}{\Theta_1} \frac{\partial \left(\frac{F_1(t)C_{b11}(t) + F_2(t)C_{b12}(t)}{F_1(t) + F_2(t) + F_3(t)} \right)}{\partial F_2(t)} \Bigg|_{t=0} = \frac{1}{\Theta_1} \frac{\frac{\partial(F_1(t)C_{b11}(t) + F_2(t)C_{b12}(t))}{\partial F_2(t)} (F_1(t) + F_2(t) + F_3(t)) - \frac{\partial(F_1(t) + F_2(t) + F_3(t))}{\partial F_2(t)} (F_1(t)C_{b11}(t) + F_2(t)C_{b12}(t))}{(F_1(t) + F_2(t) + F_3(t))^2} \Bigg|_{t=0} = \frac{1}{\Theta_1} \frac{(C_{b12_0}(F_{1_0} + F_{2_0} + F_{3_0}) - (F_{1_0}C_{b11_0} + F_{2_0}C_{b12_0}))}{(F_{1_0} + F_{2_0} + F_{3_0})^2}.$$

Коефіцієнт K_2 з рівняння (2.3.14) набуває вигляду:

$$K_2 = (C_{b12_0} + \frac{C_{b12_0}(F_{1_0} + F_{2_0} + F_{3_0}) - (F_{1_0}C_{b11_0} + F_{2_0}C_{b12_0})}{\Theta_1(F_{1_0} + F_{2_0} + F_{3_0})^2}) \frac{1}{\frac{1}{\Theta_1} + \frac{1}{\Theta_2} + \frac{F_{5_0}}{V\rho}}.$$

Розраховуємо розмірність коефіцієнтів:

$$T = \frac{1}{\frac{1}{c} + \frac{1}{c} + \frac{\frac{\kappa_2}{\mathcal{M}^3}}{\frac{\kappa_2}{\mathcal{M}^3}}} = [c];$$

$$k_1 = \frac{\frac{\frac{\kappa_2}{\mathcal{M}^3}(\frac{\kappa_2}{c}) - (\frac{\kappa_2}{\mathcal{M}^3} \frac{\kappa_2}{c})}{\frac{\kappa_2}{\mathcal{M}^3}}}{\frac{1}{c}(\frac{\kappa_2}{c})^2(\frac{1}{c} + \frac{\frac{\kappa_2}{\mathcal{M}^3}}{\frac{\kappa_2}{\mathcal{M}^3}})} = \left[\frac{c}{\kappa_2} \right];$$

$$k_2 = \frac{\frac{\frac{\kappa_2}{\mathcal{M}^3}(\frac{\kappa_2}{c}) - (\frac{\kappa_2}{\mathcal{M}^3} \frac{\kappa_2}{c})}{\frac{\kappa_2}{\mathcal{M}^3}}}{\frac{1}{c}(\frac{\kappa_2}{c})^2(\frac{1}{c} + \frac{\frac{\kappa_2}{\mathcal{M}^3}}{\frac{\kappa_2}{\mathcal{M}^3}})} = \left[\frac{c}{\kappa_2} \right].$$

Підставивши основні параметри статичного режиму, знаходимо значення коефіцієнтів математичної моделі:

$$T = 0,712;$$

$$k_1 = 1,469;$$

$$k_2 = 1.69.$$

$$W_{\Delta F_1(p) \rightarrow \Delta C_{b41}(p)} = \frac{K_1}{Tp + 1} = \frac{1,469}{0,712p + 1};$$

$$W_{\Delta F_2(p) \rightarrow \Delta C_{b41}(p)} = \frac{K_2}{Tp + 1} = \frac{1.69}{0.712p + 1}.$$

2.4. Моделювання статичного режиму роботи реактора

На основі рівнянь з попереднього пункту було проведено моделювання статичного режиму роботи реактора:

За каналом керування: $Cb_41 = f(F_1)$.

За каналом збурення: $Cb_41 = f(F_2)$.

Отримуємо:

$$Cb_41 = \frac{\frac{F_1 + F_2 C_{g12} - F_3 C_{g21} + F_4 C_{g31}}{V\rho} - \frac{\frac{F_1 C_{b11} + F_2 C_{b12}}{F_1 + F_2 + F_3}}{\Theta_1} + \frac{C_{b31}}{\Theta_2} - \frac{2 C_{g12} - F_3 C_{g21} + F_4 C_{g31}}{V\rho\omega_{gb}} + \frac{\frac{F_1 C_{b11} + F_2 C_{b12}}{F_1 + F_2 + F_3}}{\Theta_1} - \frac{C_{b31}}{\Theta_2}}{\frac{\frac{F_2}{V\rho} - \frac{1}{\Theta_1} - \omega_{gb} - \frac{1}{\Theta_2}}{\frac{1}{\Theta_1} - \frac{1}{\Theta_2}} - \frac{F_5}{V\rho\omega_{gb}}}$$

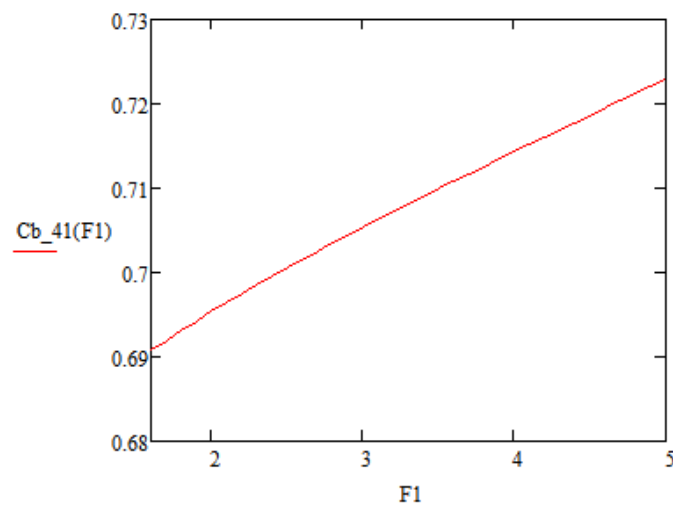


Рис. 2.4.1 – Статичні характеристики реактора по каналу керування

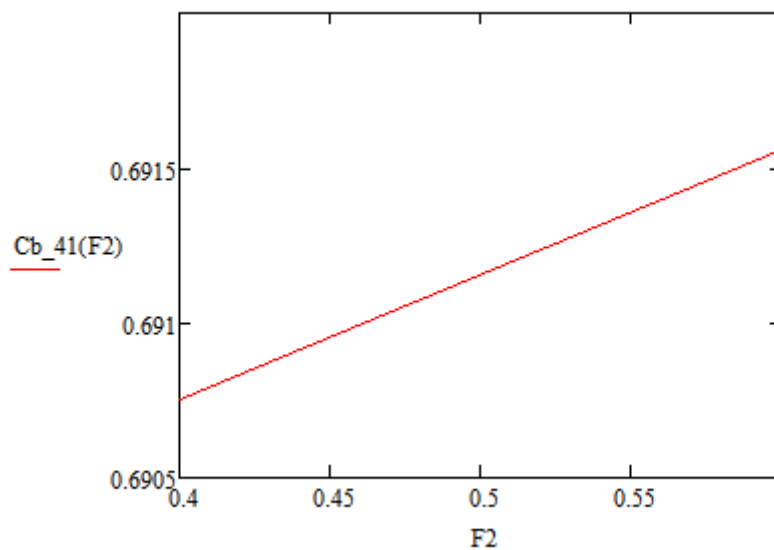


Рис. 2.4.2 – Статичні характеристики реактора по каналу збурення

Аналіз статичних характеристик свідчить, що витрата основного потоку газойля має більш істотний вплив на кінцеву концентрацію бензину, ніж витрата переробленого газойля.

2.5. Моделювання динамічного режиму роботи реактора

В середовищі MathCAD за допомогою зворотного перетворення Лапласа отримаємо перехідну характеристику контуру керування з його передатної функції.

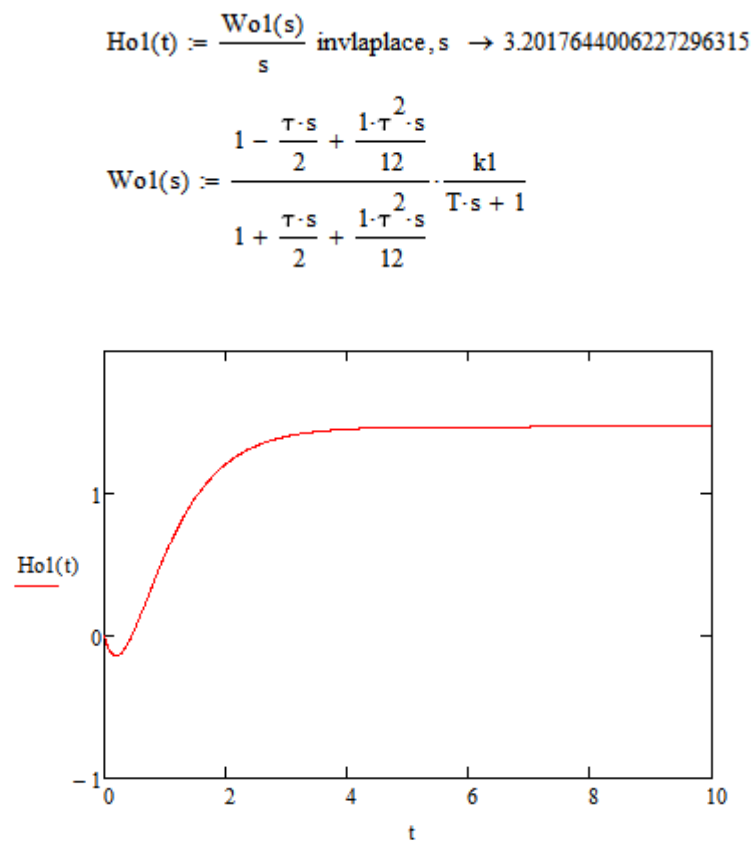


Рис. 2.5.1 – Перехідна характеристика реактора за каналом керування

$$Wo2(s) := \frac{k2}{T \cdot s + 1} \quad Ws_zb(s) := Wo2(s) \cdot Wzap(s)$$

$$Ho2(t) := \frac{Ws_zb(s)}{s} \text{ invlaplace, } s \rightarrow 3.6834457706279190451 \cdot e^{-2.5586353944562899787 \cdot t}$$

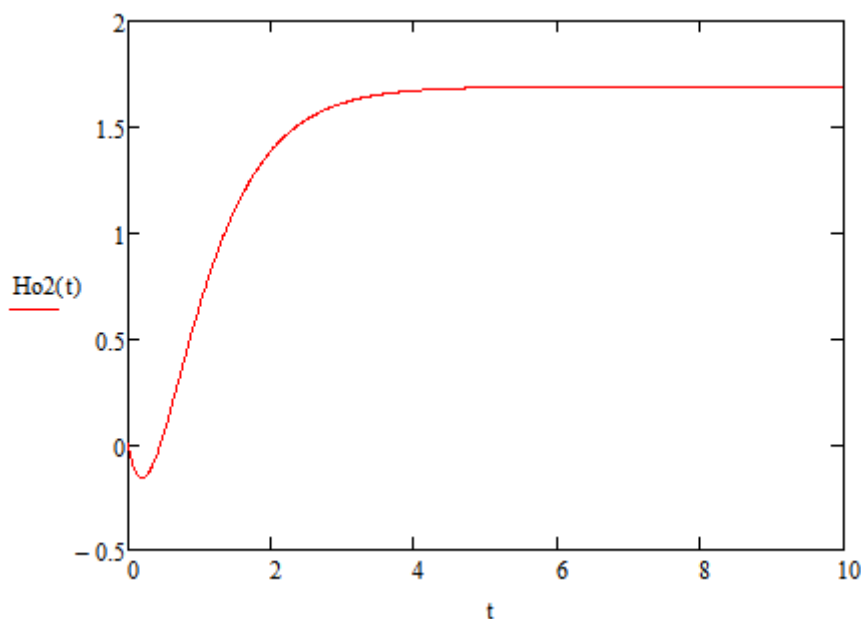


Рис.2.5.2. – Перехідна характеристика реактора за каналом збурення

Результати моделювання динамічного режиму підтвердили твердження про те, що використання у якості керувального впливу витрати основного потоку газойля є більш ефективним для керування концентрацією цільового продукту.

2.6. Висновки до розділу 2

Під час математичного моделювання були отримані статичні та динамічні характеристики роботи реактора у технологічному процесі каталітичного крекінгу.

Проведено аналіз впливу витрати вхідних компонентів на зміну концентрації бензину на виході.

Встановлено, що у якості каналу керування доцільно вибрати канал «витрата вхідного потоку газойля-концентрація бензину на виході з реактора».

Отримана математична модель буде використана як основа для імітаційного моделювання системи керування реактором у технологічному процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі.

3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РЕАКТОРОМ У ПРОЦЕСІ КАТАЛІТИЧНОГО КРЕКІНГУ В ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ

3.1. Структура системи керування хімічним реактором

В ході досліджень було розроблено систему керування реактором, яка складається з двох контурів керування: основним є контур стабілізації концентрації цільового продукту, який залежить від співвідношення витрати газойля та катализатора; додатковим – контур керування співвідношенням основного і переробленого газойля [10]. Такий варіант дозволяє врахувати повернений газойль із ректифікаційної колони, що додатково змішується з основним потоком. Його частка незначна, але він безумовно впливає на якість вихідного продукту.

Для синтезу регуляторів і вибору технічних засобів автоматизації для даного технологічного процесу, на основі вищезазначених тверджень, було розроблено схему автоматизації, що зображена на рисунку 3.3.1. Запропонований варіант дозволяє у повній мірі враховувати вплив основних потоків на концентрацію цільового продукту.

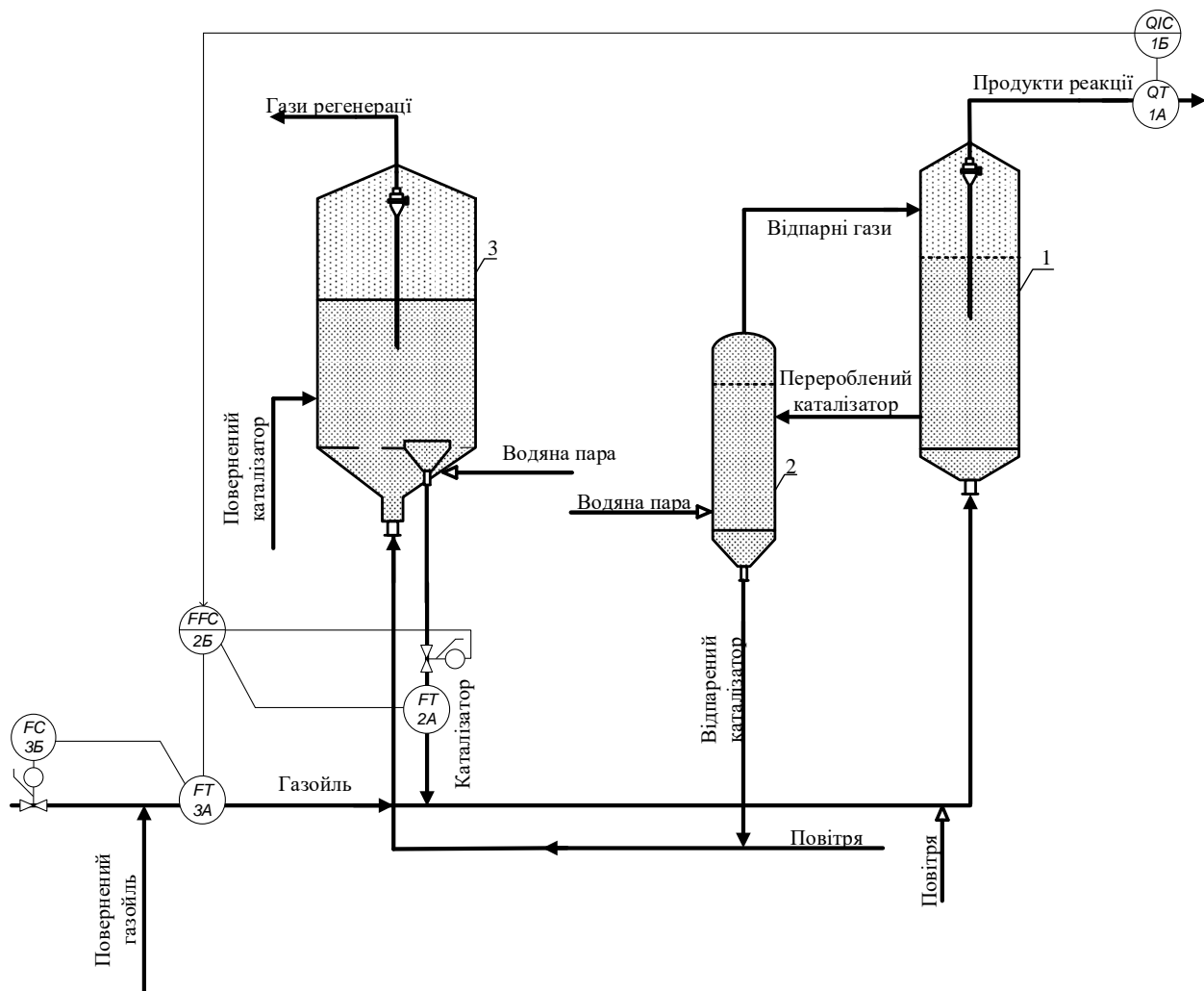


Рис. 3.1.1. – Система керування процесом каталітичного крекінгу
в псевдозрідженому шарі:

1 – реактор; 2 – відпарник; 3 – регенератор

Керування контуром співвідношення витрати вакуумного та поверненого газойля здійснюється додатковим регулятором співвідношення витрат. Керування концентрації вихідного продукту здійснюється регулятором реалізованим на базі нечіткої логіки.

3.2. Синтез системи керування реактором у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі з використанням нечіткої логіки

Для розробки та дослідження ефективності реалізації розроблених систем керування реактором було обрано програмний продукт MATLAB. Його використання надає широкий спектр можливостей в області застосування готових модулів, що реалізують алгоритми керування на основі методів нечіткої логіки та нейронних мереж. Ще однією його перевагою, є можливість використовувати генератор різноманітних вхідних сигналів (завдань), що можуть бути подані у систему. Таким чином можна провести моделювання роботи системи за різних умов і отримати інформацію про її динамічні властивості.

Першою задачею дослідження в напрямку синтезу системи керування реактором було визначити ефективність використання нечітких моделей і алгоритмів управління. Відомо, що нечітке управління засноване на використанні знань кваліфікованих фахівців, представлених у формі лінгвістичних баз правил. Воно ефективне у випадках недетермінованості параметрів об'єктів, коли існує певний досвід експертів з управління і налаштування автоматизованої системи регулювання (АСР) [12].

Теорія нечіткої логіки дозволяє використовувати знання фахівців - налагодчиків з метою поліпшення процесів управління і надання допомоги з налаштування типових регуляторів [13].

Для реалізації системи керування було використано каскадну систему керування, що в загальному випадку буде мати наступний вигляд:

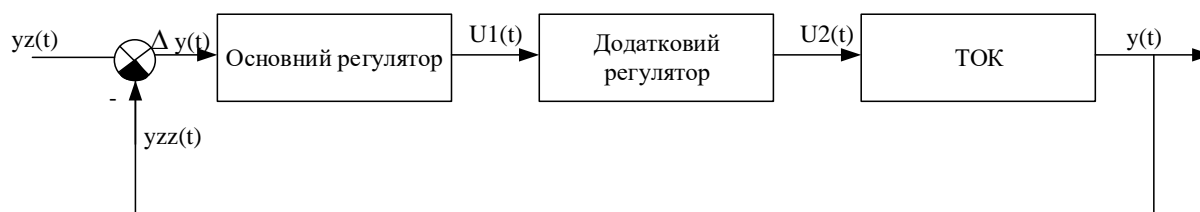


Рис. 3.2.1. – Базова структура каскадної системи керування:

$yz(t)$ – завдання регулятора; $U1(t)$ – керувальний вплив розрахований основним регулятором; $U2(t)$ – керувальний вплив розрахований додатковим регулятором; $uzz(t)$ – сигнал зворотнього зв'язку; $\Delta y(t)$ – сигнал розузгодження

Дана схема адаптована для керування реактором має наступний вигляд:

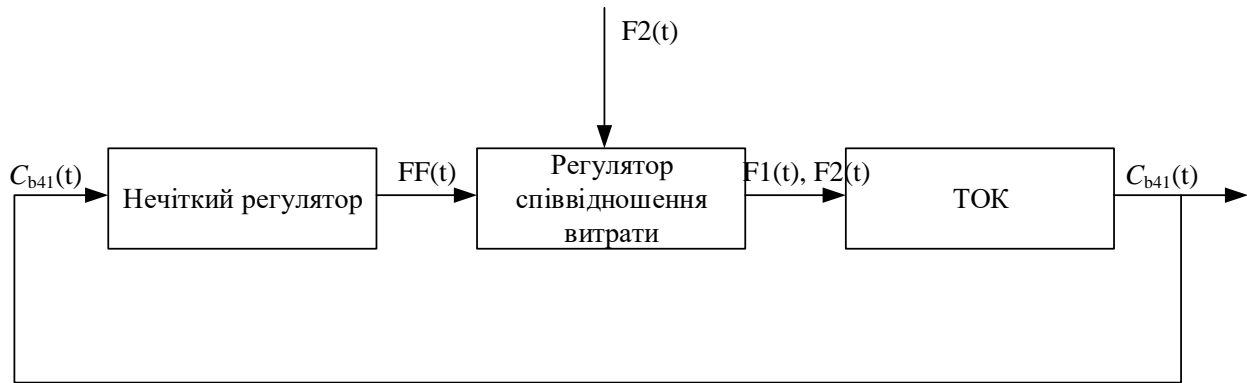


Рис. 3.2.2. Каскадна система керування реактором:

$C_{b41}(t)$ – завдання по концентрації бензину; $FF(t)$ – коефіцієнт співвідношення витрати основного та переробленого газойлю; $F1(t)$, $F2(t)$ – витрати основного та переробленого газойлю; $C_{b41}(t)$ – вихідне значення концентрації

Для синтезу системи керування приймемо наступні припущення:

- на систему не впливають будь-які збурення;
- відсутня похибка вимірювання.

Взявши за основу дані, які відповідають параметрам математичної моделі, вважаємо вихідною лінгвістичною змінною концентрацію бензину як основний параметр якісного проведення процесу.

В якості вхідної лінгвістичної змінної приймається співвідношення витрати «загальний газойль» : «каталізатор», так як цей параметр повинний підтримуватись в певному інтервалі і має визначальний вплив на перебіг процесу.

Опишемо ці змінні:

- Керована змінна – «концентрація бензину» (C_{b41});
- Керувальна змінна – «співвідношення витрати каталізатор : газойль» (FF).

Універсум для лінгвістичної змінної C_{b41} : 0,4...1 кг/кг. Терми лінгвістичної змінної C_{b41} можна подати так: «Дуже низька»; «Низька»; «Нормальна»; «Висока»; «Дуже висока» (рисунок 3.2.3).

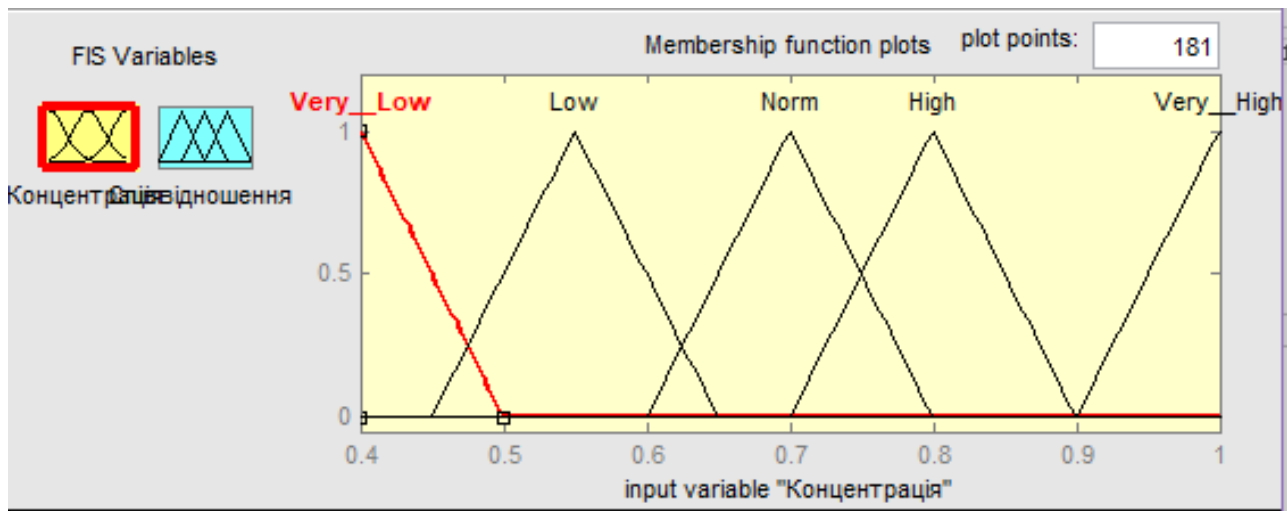


Рис. 3.2.3. – Графіки функцій належності лінгвістичної змінної C_{b41}

Універсум для лінгвістичної змінної FF: 1...6 раз. Терми лінгвістичної змінної FF можна подати так: «Дуже низька»; «Низька»; «Нормальна»; «Висока»; «Дуже висока» (рисунок 3.2.4).

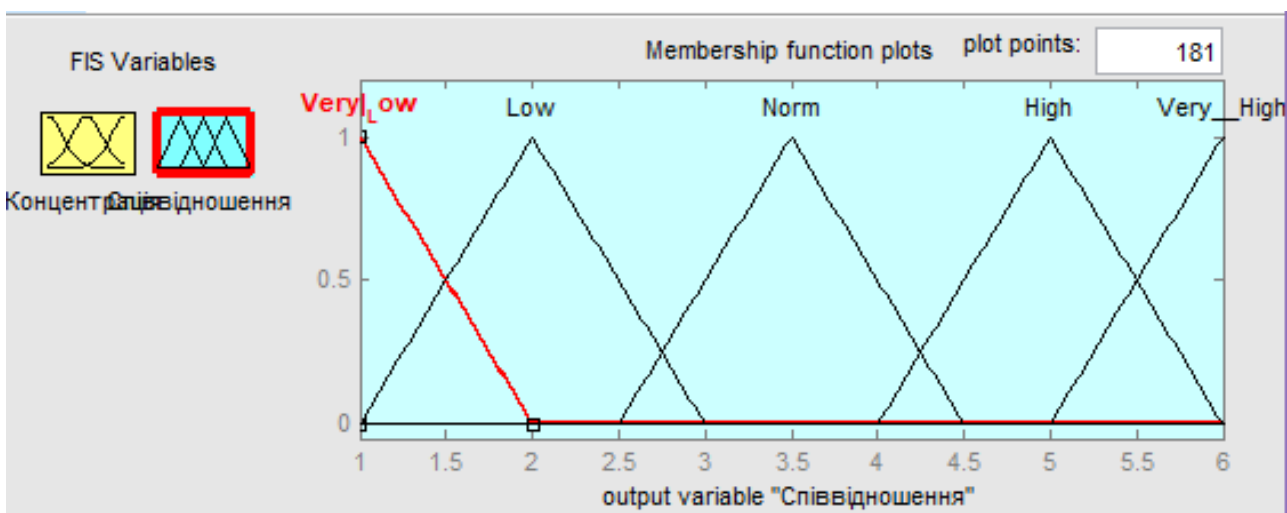


Рис. 3.2.4. – Графіки функцій належності лінгвістичної змінної FF

Сформовано правила для нечіткої системи керування:

ЯКЩО Концентрація «Дуже низька», ТО Співвідношення витрати «Дуже велике».

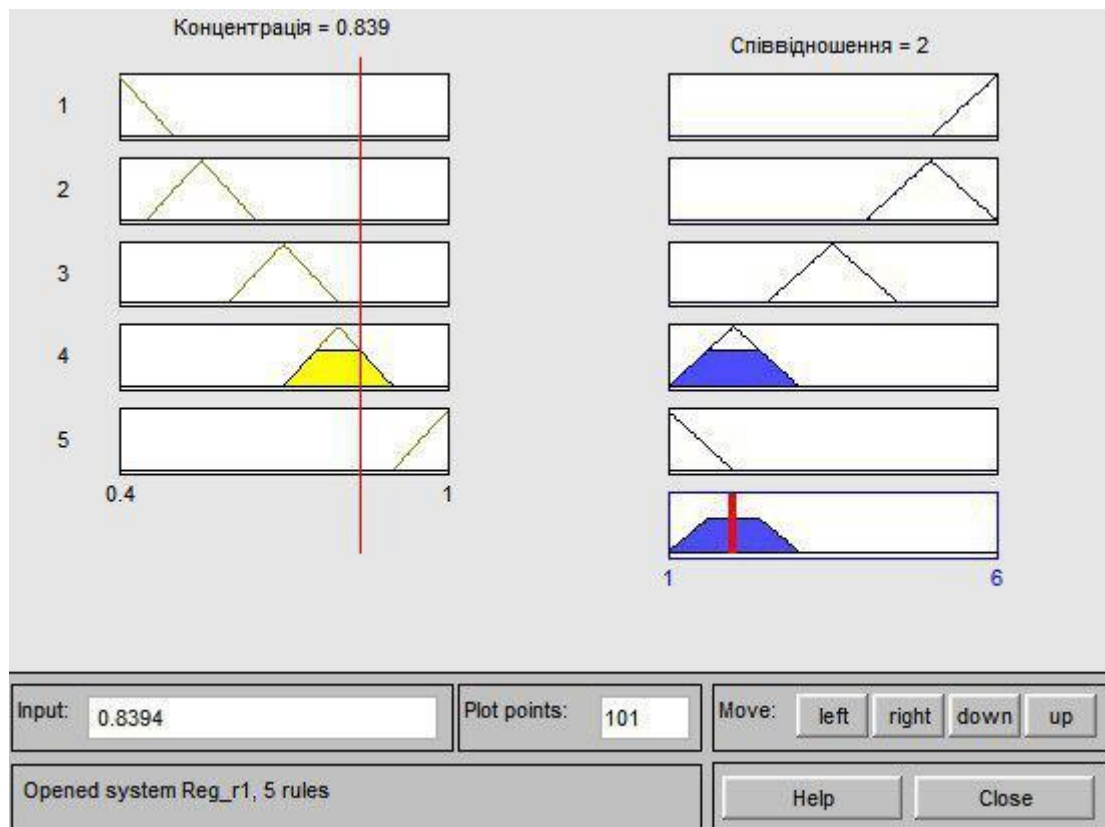
ЯКЩО Концентрація «Низька», ТО Співвідношення витрати «Велике».

ЯКЩО Концентрація «Нормальна», ТО Співвідношення витрати «Нормальне».

ЯКЩО Концентрація «Велика», ТО Співвідношення витрати «Низьке».

ЯКЩО Концентрація «Дуже велика», ТО Співвідношення витрати «Дуже низьке».

Результати налаштування нечіткого регулятора зобразимо на рисунки 3.2.5 та 3.2.6.



*Рис. 3.2.5. – Результат правил продукції
у середовищі Matlab*

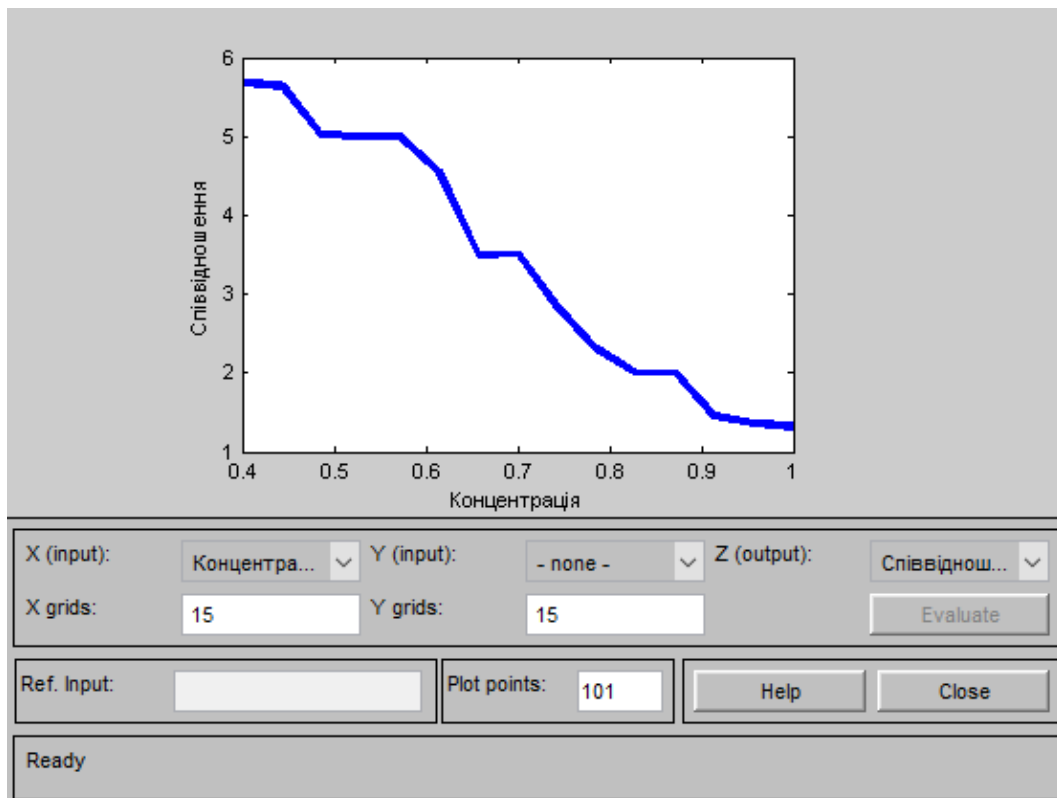


Рис. 3.2.6. – Результат нечіткого висновку у середовищі Matlab

Структура системи керування з нечітким регулятором відображається на рисунку 3.2.7:

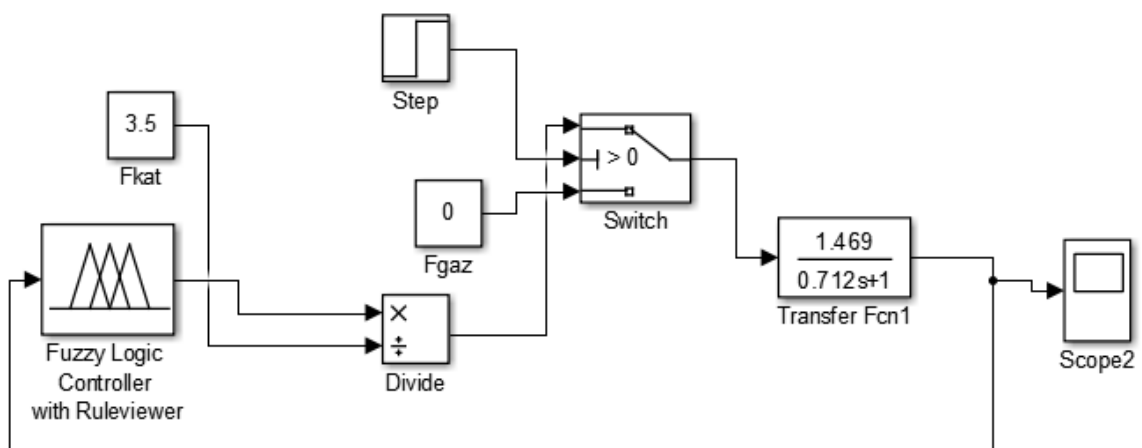


Рис. 3.2.7. – Структура системи керування з нечітким регулятором

На основі розробленої структури було реалізовано імітаційну модель системи керування реактором та отримано наступну перехідну характеристику, яка зображена на рисунку 3.2.8. Система виходить на задане значення (0,839) за 3 години.

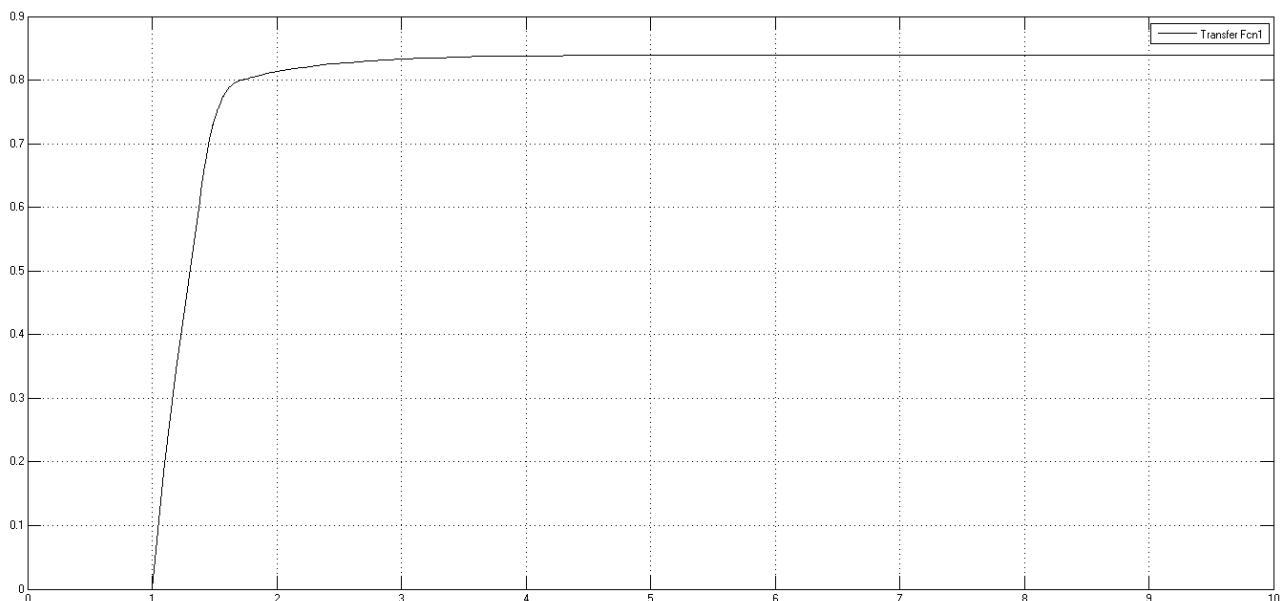


Рис. 3.2.8. – Перехідна характеристика системи керування вихідного параметру реактора отримана на базі нечіткої логіки

3.3. Використання П-, ПІ- та ПІД-регулятора для керування реактором у технологічному процесі каталітичного крекінгу

Для визначення ефективності розробленого вище рішення, було проведено його порівняння з роботою системи керування з використанням П-, ПІ- та ПІД-регуляторів.

Моделювання роботи такої системи було проведено у середовищі Simulink, що є складовою частиною системи Matlab.

Було складено схему системи керування з П-, ПІ- та ПІД- регуляторами:

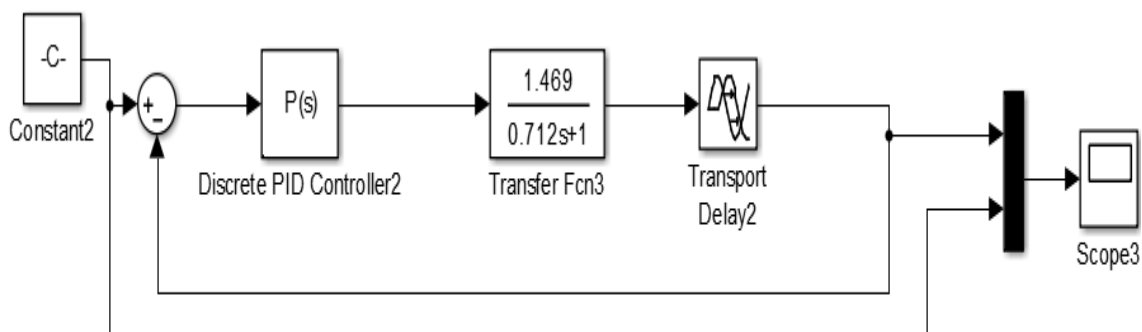


Рис. 3.3.1. – Схема системи керування з П, ПІ та ПІД-регуляторами

Використовуючи середовище Simulink отримали автоматичні налаштування параметрів регуляторів для даної системи керування [14]:

- П-регулятор: $P = 0.6838$;
- ПІ-регулятор: $P = 0.2547$, $I = 0.3568$;
- ПІД-регулятор: $P = 0.2547$, $I = 0.3568$; $D = 0$

Задавши необхідні параметри для об'єкта керування, задатчика та відповідних регуляторів [15], отримаємо графіки по каналу керування:

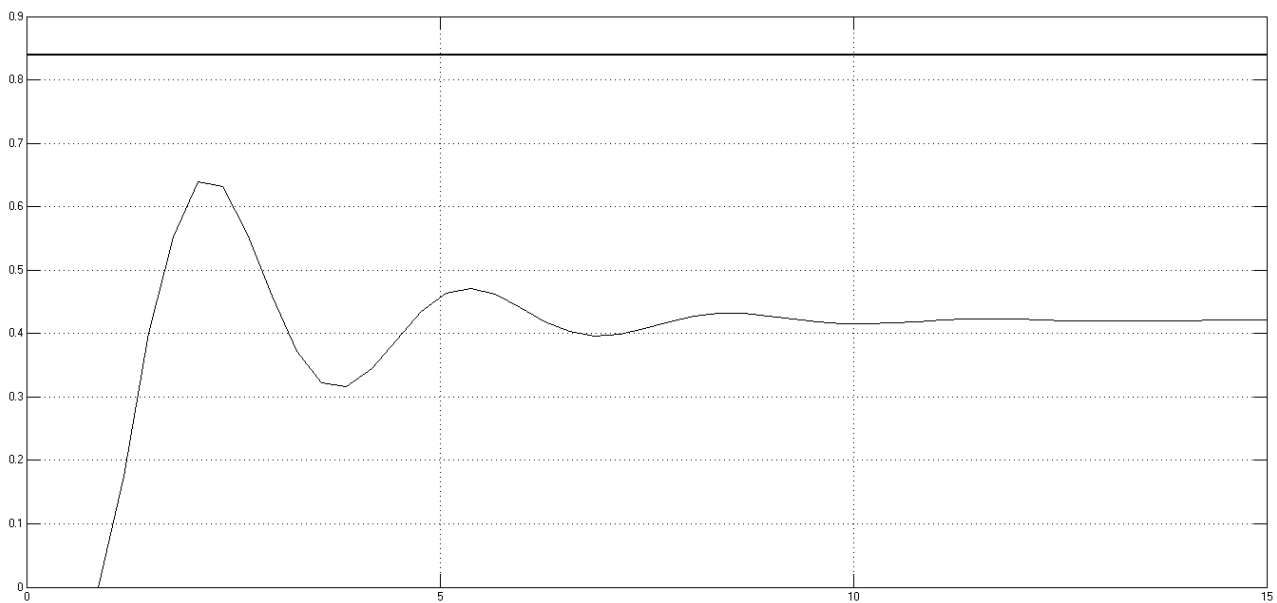


Рис. 3.3.2. – Налаштування коефіцієнтів П - регулятора у середовищі Simulink

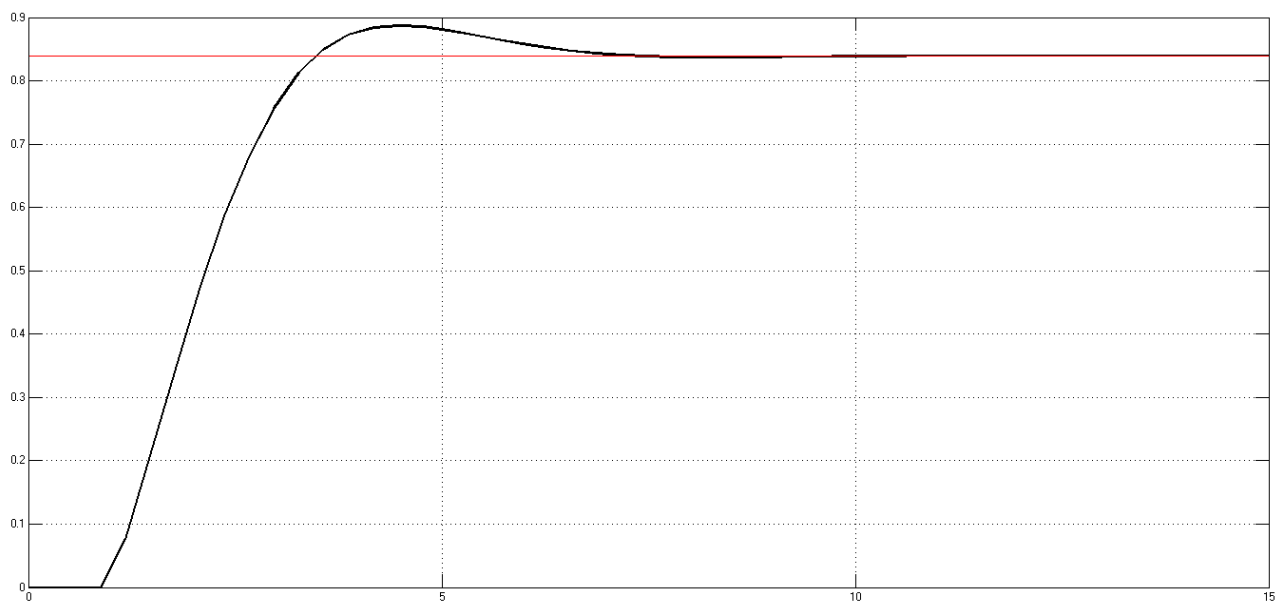
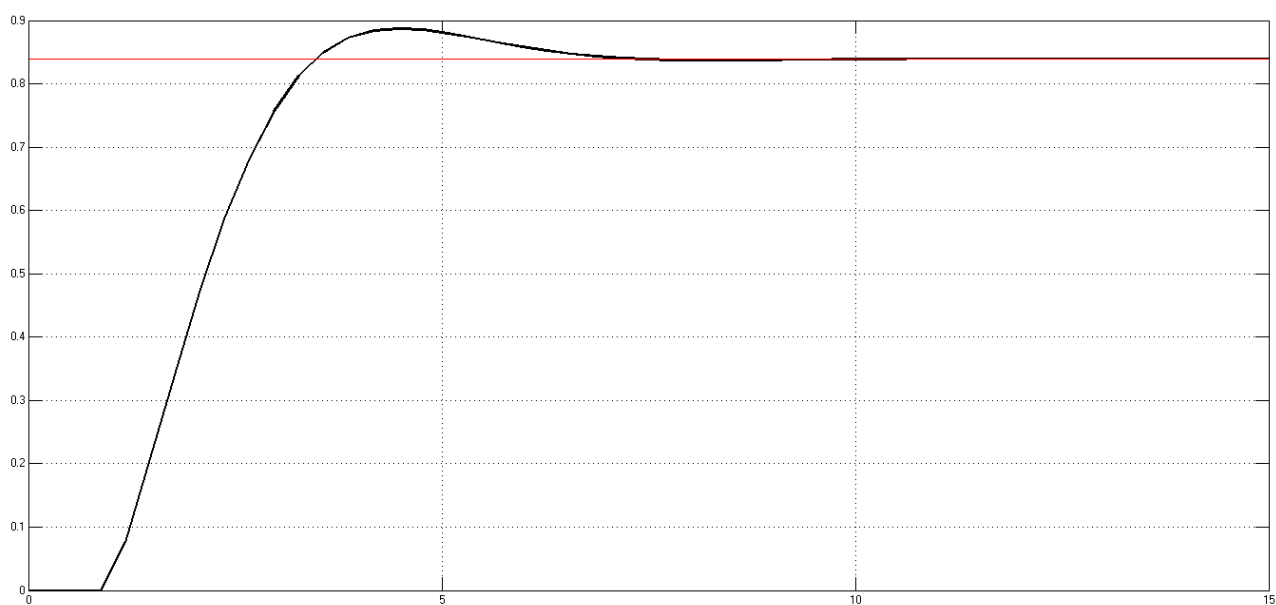
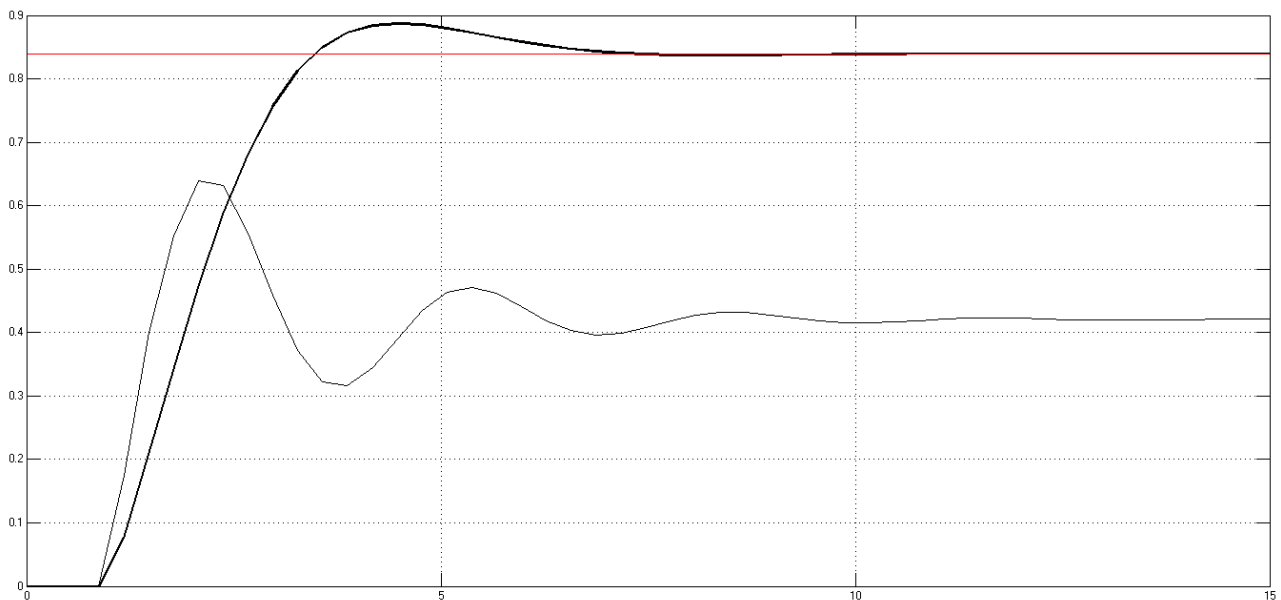


Рис. 3.3.3. – Налаштування коефіцієнтів ПІ - регулятора у середовищі Simulink



*Рис. 3.3.4. – Налаштування коефіцієнтів ПІД - регулятора
у середовищі Simulink*



*Рис. 3.3.5. – Налаштування коефіцієнтів П, ПІ - регулятора
у середовищі Simulink*

Порівнюючи перехідні характеристики можна сказати, що П-регулятор має тривалий коливний режим та не виходить на задане значення концентрації вихідного продукту. ПІ- та ПІД- регулятори виходять на задане значення за 8 годин, однак в системі присутнє перерегулювання у 6,7%.

Оскільки при автоматичному налаштування ПІД-регулятора диференційна складова дорівнює 0, можна зробити висновки, що використовуючи автоматичні налаштування, для керування системою достатньо ПІ-регулятора.

3.4. Порівняння синтезу системи керування ПІ-регулятора та регулятора реалізованого на базі нечіткої логіки

Проведено порівняння роботи системи керування з використанням ПІ-регулятора та регулятора на основі нечіткої логіки. Результати роботи системи зображені на рисунку 3.4.1:

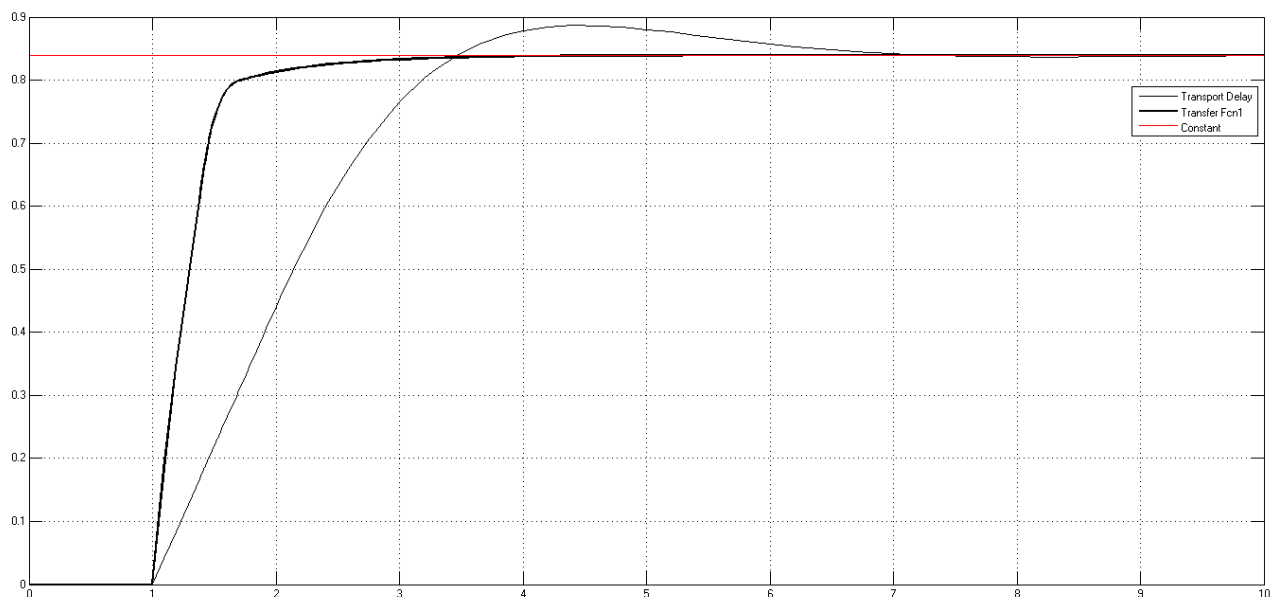


Рис. 3.4.1. – Перехідні характеристики системи керування вихідного параметру реактора:

Transport Delay – ПІ- регулятор; Transfer Fcn1 – Нечіткий регулятор;

Constant – задане значення концентрації цільового продукту

Спостерігаємо, що система керування реалізована на базі нечіткої логіки виходить на задане значення за 3 години з відсутніми коливаннями, а ПІ-регулятор за 7 годин з перерегулюванням.

3.5. Висновки до розділу 3

У третьому розділі була реалізована система керування концентрацією вихідного продукту – бензину за рахунок співвідношення витрат газойль : каталізатор.

Роботу структурної схеми керування було реалізовано декількома способами:

- за допомогою автоматичного налаштування Simulink з використанням П-, ПІ- та ПІД-регуляторів;
- з використанням регуляторів нечіткої логіки та співвідношення витрат.

Порівнявши результати досліджень, можна зробити висновки, що ПД-регулятор не доцільно використовувати для налаштування даної системи керування, оскільки диференційна складова дорівнює 0. Тому достатньо використовувати ПІ-регулятор.

Порівнявши ПІ- та систему з нечітким регулятором, бачимо, що система з нечітким регулятором виходить на задане значення швидше, ніж ПІ-регулятор, та з відсутнім перерегулюванням.

ПІ-регулятор не виходить на задане значення концентрації бензину, тому його не доцільно використовувати для налаштування системи керування процесу каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі.

4. СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РЕАКТОРОМ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО NARMA-L2 РЕГУЛЯТОРА

На сьогодні нейронні мережі не мають широкого застосування у проектуванні систем керування динамічними процесами через складність процесу їхнього навчання та зазвичай недостатнього обсягу тестових даних. Однак вони мають велику перевагу над іншими системами керування, оскільки найбільш ефективні для розв'язування задач ідентифікації, проектування та моделювання нелінійних систем.

4.1. Види нейромережових регуляторів

Перш за все було поведено аналіз існуючих нейромережових регуляторів.

Основними регуляторами на їх основі є [16]:

1) Регулятор з прогнозуванням – модель процесу керування подається у вигляді нейронної мережі. Даний регулятор призначений для того, щоб передбачити майбутні реакції процесу на випадкові сигнали керування. Він потребує тривалих обсягів обчислення.

2) Регулятор NARMA-L2 – це проста реконструкція нейромережової моделі, яка подається у вигляді нелінійної авторегресії зі змінним середнім нейромережової моделі, що отримана на етапі автономної ідентифікації. З усіх запропонованих регуляторів NARMA-L2 потребує найменшого обсягу обчислень.

3) Регулятор на основі еталонної моделі – потребує навчання нейронної мережі керованого процесу і нейронної мережі регулятора. Перевагою даного регулятора є те, що він може бути застосований до різних класів керованих процесів. Обсяг обчислень не є великим.

В рамках даного дослідження, для реалізації системи керування процесу каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі обрано NARMA-L2 регулятор.

4.2. Система керування реактором реалізована NARMA-L2 регулятором

NARMA-L2 – нейромережевий регулятор, який використовує в якості моделі керуючого процесу, модель нелінійної авторегресії зі змінним середнім [17].

Схема керування реактором у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі, з використанням даного регулятора, зображена на рисунку 4.2.1:

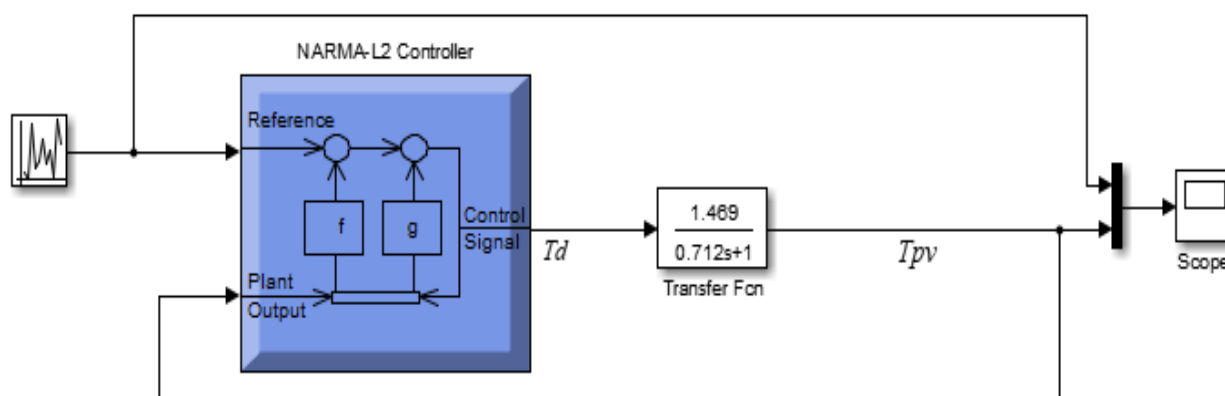


Рис. 4.2.1. – Схема керування реактором у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі

Математична модель реактора зображується у вигляді передатної функції:



Рис. 4.2.2. – Схема математичної моделі реактором у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі

Система, яку ми розглядаємо є нелінійна. Тому потрібно побудувати її дискретну нелінійну модель у вигляді авторегресійної моделі зі змінним середнім або моделі – NARMA:

$$y(k+d) = N [y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k), \dots, u(k-n+1)] \quad (4.2.1)$$

де $y(k)$ – вихід моделі; d – число тактів прогнозування; $u(k)$ – вхід моделі.

Етап ідентифікації полягає в тому, щоб побудувати нейронну мережу для NARMA-моделі (рівняння 4.2.1).

Якщо потрібно спроектувати систему, яка забезпечує рух по заданій траєкторії:

$$y(k+d) = y_r(k+d) \quad (4.2.2)$$

Тоді потрібно сформулювати нелінійний регулятор, який буде мати наступний загальний вигляд:

$$u(k) = G[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), y_r(k+d), u(k-1), \dots, u(k-m+1)] \quad (4.2.3)$$

В процесі мінімізації середньоквадратичної помилки цей регулятор потребує значних обчислень, оскільки використовується динамічний варіант метода оберненого зв'язку.

На рисунку 4.2.3 зображено блок налаштування параметрів регулятора:

Plant Identification - NARMA-L2

File Window Help

Network Architecture

Size of Hidden Layer: No. Delayed Plant Inputs:

Sampling Interval (sec): No. Delayed Plant Outputs:

☐ Normalize Training Data

Training Data

Training Samples: ☒ Limit Output Data

Maximum Plant Input: Maximum Plant Output:

Minimum Plant Input: Minimum Plant Output:

Maximum Interval Value (sec): Simulink Plant Model:

Minimum Interval Value (sec):

Training Parameters

Training Epochs: Training Function:

☒ Use Current Weights ☒ Use Validation Data ☒ Use Testing Data

Generate or import data before training the neural network plant.

Рис. 4.2.3. – Вікно процедури ідентифікації

Після налаштування коефіцієнтів, відбувається генерація даних (рисунок 4.2.4) математичної моделі, для подальшого навчання системи керування.

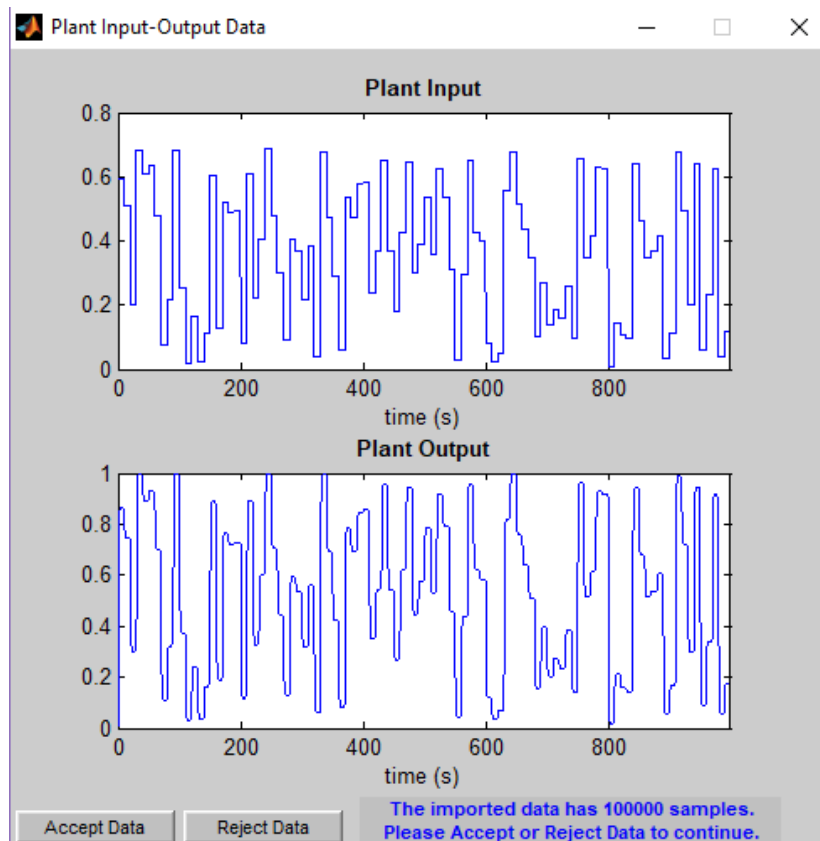


Рис. 4.2.4. – Генерація даних моделі

Після навчання моделі апарату проводиться моделювання. На наступному рисунку зображено графіки вхідного сигналу та виходу системи:

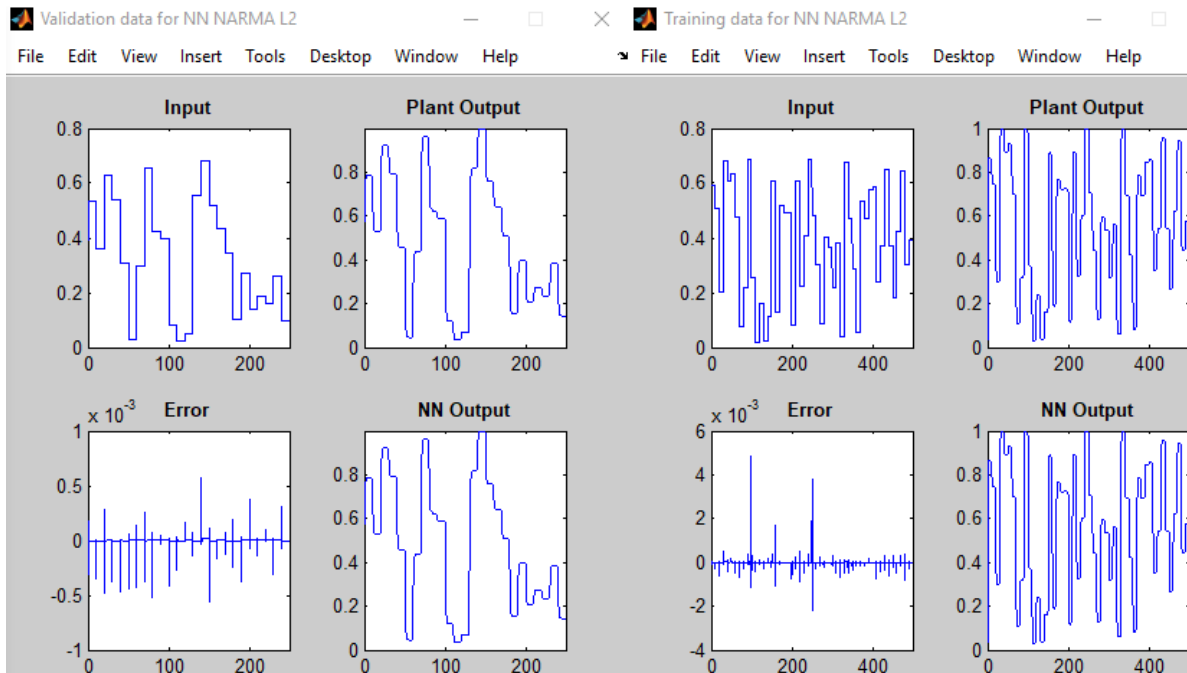


Рис. 4.2.5. – Графіки вхідного та вихідного сигналів об'єкта керування

Параметри неймережевої моделі керування процесу потрібно додати в блок NARMA-L2 регулятора. Дані налаштування регулятора дозволяють навчити модель NARMA-L2. Регулятор NARMA-L2 навчається по моделі реактора, тому немає окремого вікна для навчання регулятора (рисунок 4.2.6):

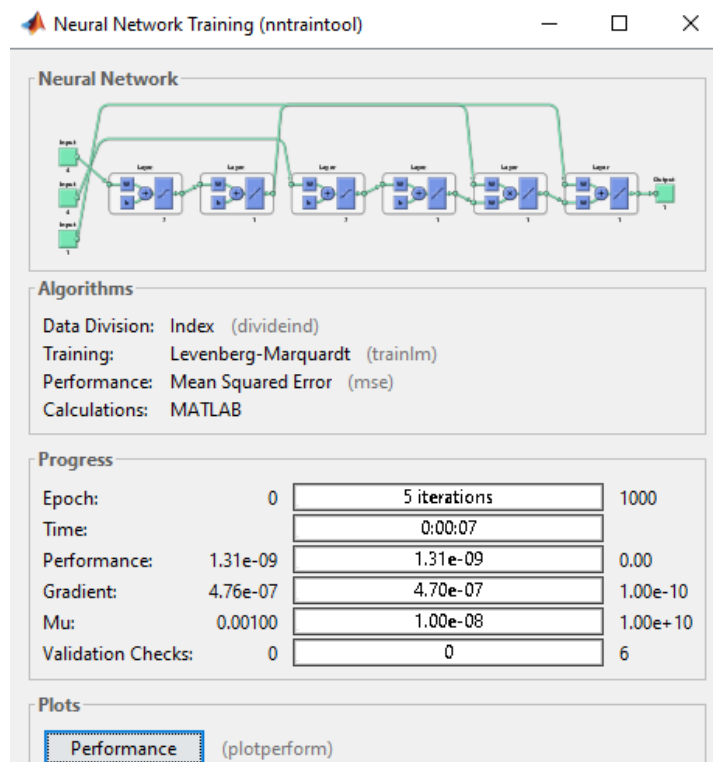


Рис. 4.2.6. – Блок NARMA-L2 регулятора та навчання нейронної мережі

В процесі моделювання отримуємо графіки вхідного та вихідного керування концентрацією бензину на виході з реактора (рисунок 4.2.7):

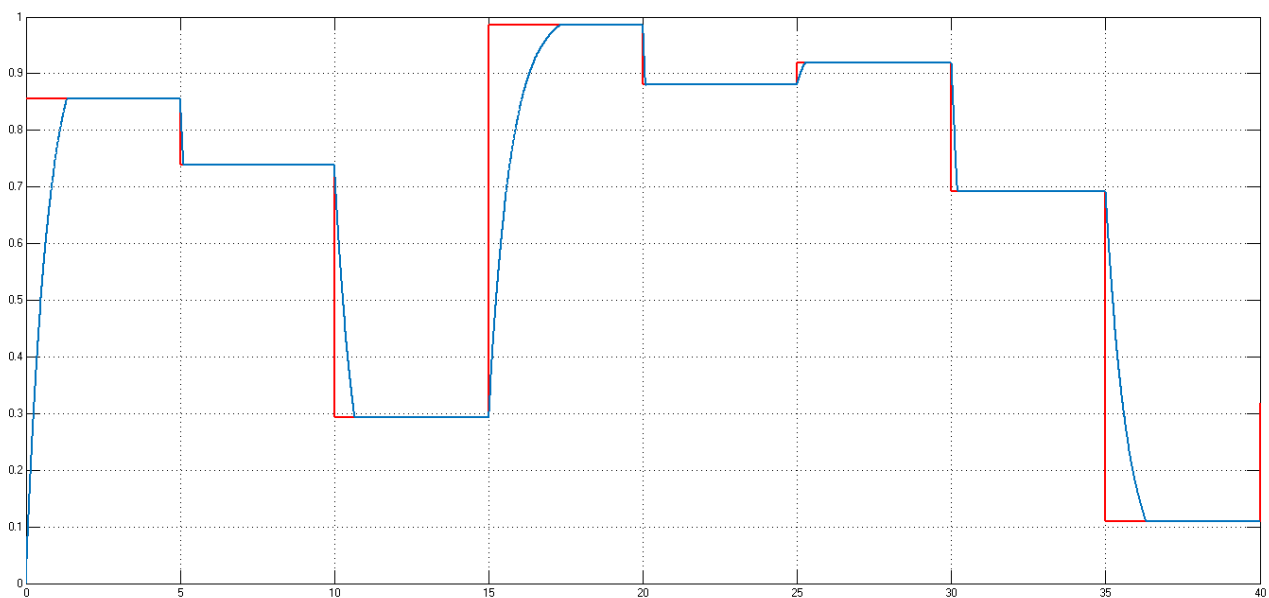


Рис. 4.2.7. – Результати моделювання

Як можна побачити з графіку перехідного процесу, за умови випадкової зміни сигналу завдання, нейронний (NARMA-L2) регулятор виводить систему на задане значення за мінімальний час (у порівнянні з іншими регуляторами) за повної відсутності перерегулювань.

Таким чином, регулятор NARMA-L2, реалізований у вигляді нейронної мережі, доцільно використовувати для керування реактором у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі.

4.3. Висновки до розділу 4

Проведено аналіз існуючих нейромежевих регуляторів та встановлено їхні сильні та слабкі сторони.

Розроблена структура системи керування реактором у процесі каталітичного крекінгу з використанням NARMA-L2 регулятора та проведено його навчання.

Порівнявши роботи даного регулятора з налаштованими раніше ПІ та нечітким регулятором можна зробити наступні висновки:

- NARMA-L2 регулятор має найменший час виходу на задане значення;
- NARMA-L2 та нечіткий регулятори реалізують перехідний процес у системі за відсутності перерегулювання чи коливань вихідної величини

5. СТВОРЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1. Опис ідеї стартап-проекту

Важко уявити сучасний світ без використання бензину та дизельного палива, тому світовий попит на транспортування палива зростає з кожним днем. Практично кожна галузь так чи інакше потребує велику кількість палива. Найбільші витрати палива йдуть на повсякденне споживання людьми.

Одним із розповсюджених процесів переробки нафти у світі – процес каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі. Він відіграє ключову роль в інтегрованих нафтопереробних виробництвах, за рахунок перетворення важких нафтових фракцій до легких продуктів.

Планується розробити та спроектувати систему автоматизованого керування процесом каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі при переробці нафти та нафтових фракцій, що зможе оптимізувати енергозатрати та підвищити якість продукції.

Високооктановий бензин виробляється в процесі каталітичного крекінгу. Крім того, бензин містить менше 1 % бензолу і 20...25 % ароматичних вуглеводнів, що дає можливість використовувати його для приготування бензинів згідно з останніми нормам Євросоюзу (Євро-4, Євро-5). Отриманий в процесі легкий газойль використовується як компонент дизельного палива, а важкий газойль з високим вмістом поліциклічної ароматики як сировина для виробництва технічного вуглецю або високоякісного електродного коксу.

Основним фактором якості палива є його концентрація, яка залежить від: витрати вхідної сировини, витрати та якості каталізатора, а також від температури, під час якої проходить процес крекінгу. У реальному часі важко відслідкувати і підібрати оптимальні параметри регулятора для забезпечення високої якості продукції. Саме тому, важливо спроектувати автоматичну систему керування, яка буде знаходити оптимальні умови для керування процесом.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Переробка нафти процесом каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі	<ul style="list-style-type: none"> - Зменшення затрат енергії та інших ресурсів на виробництві; - Висока якість вихідного продукту; - Зменшення собівартості продукції.

5.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик проекту

№	Техніко-економічні характеристики	(Потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент1	Конкурент2			
1.	Концентрація (якість) цільового продукту	висока	середня	середня			+
2..	Витрати електроенергії	Менші на 5 %	Не менші	Не менші		+	
3..	Температура процесу крекінгу	500... 800 °C	450...750 °C	350...600°C			+

5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

Головною ідеєю зменшення затрат та покращення якості продукції – є зменшення впливу людини на проходження процесу. Пропонується використати розроблену систему автоматичного керування процесом, котра дозволить детально керувати процесом каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі. Стане можливим забезпечити віддалене керування процесом завдяки мережевим з'єднанням, і у випадку виникнення будь-яких несправностей, він зупиниться, спрацює аварійна сигналізація і все завершиться без згубних наслідків для робочих

на підприємстві. Також, варто відмітити, що завдяки такому програмному забезпеченню можливо досягти скорочення обслуговуючого персоналу на виробництві, а це значно зменшить собівартість продукції. У програмному продукті буде вмонтовано регулятори різних типів, які будуть автоматично підбиратися, але можливо також буде вибрати регулятор вручну (якщо знати особливості процесу безпосередньо на місці). Система обмежень програмного комплексу зможе пришвидшити процес подачі сировини та підвищення температури в апаратах.

5.4. Характеристика потенційних клієнтів

У сучасній промисловості процес каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі є важливим процесом, оскільки продукція даного виробництва широко використовується в різноманітних галузях промисловості та у суспільному житті. Широке застосування продуктів даного процесу спрямовує інженерів до розробки нових або удосконалення старих технологій виробництва.

Таблиця 5.3 – Характеристика потенційних клієнтів

№ n/n	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	2	3	4	5
1.	Базова потреба, яку задовольняє товар (згідно концепції потенційного товару)	Визначити потенційні цільові групи клієнтів, що можуть бути зацікавлені у задоволенні значеної потреби	Вписати фактори, що формують поведінку клієнта (стандарты, технічні регламенти, інші фактори цінового та нецінового характеру) та особливості купівлі та експлуатації товару	- до продукції - до компанії - постачальника
2.	Переробка нафти та нафтових фракцій	Підприємці	ДСТУ, ГОСТ	
3.	Отримання якісного палива	Підприємці, звичайні споживачі	ДСТУ, ГОСТ	

5.5. Фактори загроз

Загрози існують скрізь і при застосуванні даної технології також є загрози. Для попередження таких ситуацій необхідно встановлювати якісні та сучасні системи контролю та спостережень, а також працювати на підприємстві повинні висококваліфіковані фахівці. Також, на виході після переробки нафти за даною технологією необхідно виконувати регулярний контроль та аналіз отриманого цільового продукту, щоб якомога швидше усунути несправність або помилки, у разі їх виникнення.

Таблиця 5.4 – Фактори загроз

№п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Недостатня якість сировини	Сировина, яка йде на переробку матиме великий вміст домішків	Попереднє/додаткове очищення сировини
2.	Низька якість каталізатора	Часткова переробка сировини	Придбання якісного каталізатора
3.	Недостатня температура процесу	Процес крекінгу проходить за високих температур, тому при недотриманні заданих параметрів процес буде протікати неправильно; часткова переробка сировини; низька якість цільового продукту	Створення системи керування, яка буде контролювати параметри
4.	Недостатня економія, внаслідок неправильного використання обладнання	Низька якість керування процесом	Ремонт або налаштування системи керування
5.	Недостатня якість готового продукту, внаслідок виходу із ладу необхідного обладнання	Вихід із ладу обладнання в технологічному процесі	Ремонт або налагодження обладнання

5.6. Фактори можливостей

Таблиця 5.5 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Ретельний підбір сировини	Підхід реалізується для забезпечення якості готової продукції	Збільшення якісної готової продукції
2.	Ретельний підбір каталізатора	Підхід реалізується для забезпечення якості готової продукції	Збільшення якісної готової продукції
3.	Вчасна модернізація обладнання	Знижує загрозу виготовлення продукції низької якості	Збільшення об'єму виготовленої продукції
4.	Встановлення додаткових термопар, для виміру температури в реакторі та регенераторі	Знижує загрозу роботи апаратів на неправильній температурі	Збільшення якості виготовленої продукції

5.7. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Таблиця 5.6 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність Підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1	2	3
1. Тип конкуренції : Чиста	Ніхто не може вплинути на ситуацію на ринку безпосередньо. Лише інновації та вигідні пропозиції	Система знижок, програми лояльності. Довготривалі контракти, зниження ціни. Випробувальні терміни.
2. За рівнем конкурентної боротьби : міжнародна	Треба орієнтуватися на міжнародний ринок, адже саме міжнародний ринок забезпечує нас паливом. Потрібно працювати максимально з усіма фірмами і розширювати ім'я.	Розсилати електронною поштою листи та шукати особистої зустрічі з підприємцями.
3. За галузвою ознакою : внутрішньогалузева.	Автоматизовані системи керування фактично відрзняються лише якістю, ціною і функціями.	Робити якісні АСК, які будуть робити товар вищої якості з використанням меншого обсягу ресурсів.

4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Ми пропонуємо АСК з різними властивостями в залежності від потреби покупця.	Запропонувати або широкий спектр із дуже потужними властивостями
5. За характером конкурентних переваг: нецінова	Наша продукція матиме трохи вищу ціну за середньоринкову, основний акцент варто зробити на якість продукції	Пропозиція з випробувальним терміном. Вказівка на економії у часі, ресурсі та якості вихідної продукції.
6. За інтенсивністю: марочна	Потрібно зробити бренд із нашого продукту, щоб його можна було легко впізнати	Створення логотипу, нанесення його (або назви) на продукт. Реклама в інтернеті.

5.8. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 5.7 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Основні	«Киришский НПЗ» (Росія) (К) «Shell» (Каліфорнія) (S)	Нові компанії, які починають розвиватися і впроваджують інновації.	Сила у тому, що без АСК наразі виробництва не працюють. Можна поставити АСК інших виробників, але прибуток знизиться.	Клієнти можуть вимагати зниження ціни за рекламу і використання продукції протягом тривалого часу. Також вони можуть шукати щастя у інших фірмах.	Інші фірми виробляють схожу продукцію. Але є різні рівні цін та якості.
Висновки	Основна перевага – ціна і досвід. Але враховуючи потенціал, можна заповнити їхній ринок	Є можливість входу в ринок. Конкуренти уже змогли стати брендами, але є можливість задавити їх завдяки вигідним пропозиціям	Диктують. Співвідношення якості/ціна/обсяг	Можуть наполягати на здешевленні.	Не можна завищити ціну.

5.9. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 5.8 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Висока якість	Чим вища якість продукту – тим більше буде прибутку.
2.	Доступна ціна	Ціна трохи вища середньої, але дає можливість себе окупити дуже швидко.
3.	Економія ресурсів при виготовленні	Економія ресурсів призводить до збільшення прибутку

З таблиці бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при переробці нафти процесом каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі.

5.10. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Процесу каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі»

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл.5.9) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 5.10).

Таблиця 5.9 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «назва проекту»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з "КАР-Company"						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Висока якість	18						(K)	(S)
2.	Доступна ціна	10			(K)	(S)			
3.	Економія ресурсів при виготовленні	18				(K)	(S)		

5.11. SWOT – аналіз стартап-проекту

Таблиця 5.10 - SWOT- аналіз стартап-проекту

<i>Сильні сторони</i>	<i>Слабкі сторони</i>
- Якісна продукція - Контракти з ВНЗ	- Ціна вища ніж у конкурентів - Конкуренти, які створюють продукцію новітніми технологіями
<i>Можливості</i>	<i>Загрози</i>
Заощадження на зарплаті Навчати «своїх» працівників після ВНЗ	Люди не будуть купляти товар Зниження якості роботи Збільшення часу виготовлення продукції

Управлінська проблема: Знайти можливість випускати продукцію такої ж якості за ринковою ціною та якісною навчити спеціалістів.

Таблиця 5.11 - Слабкі та сильні сторони альтернативних шляхів

<i>Альтернативи</i>	<i>Слабкі сторони</i>	<i>Сильні сторони</i>
Зробити систему знижок	Зменшення прибутку	Може урівняти ціни
Проводити тренінги	Затрати часу та коштів	Підвищення кваліфікації персоналу

Найоптимальніший шлях вирішення управлінської проблеми – розробка системи знижок на товар та проведення тренінгів для спеціалістів.

5.12. Вибір цільових груп потенційних споживачів

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл.5.12).

Таблиця 5.12 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сег- мент
1.	Підприємства, що спеціалізу- ються на пере- робці нафти	80%	65%	Середня конку- ренція	Враховуючи те, що на цей напрямок буде зроблений ак- цент – то це дасть нам пе- ревагу
2.	Автоматизація процесу ката- літичного кре- кінгу	50%	45-50%	Велика конкуре- нція, особливо за рахунок викори- стання інозем- них компаній.	Важко, адже нова компанія. Першозаявле- ний профіль – системи керу- вання для вузької спеціалізації,
Які цільові групи обрано: Переробка нафти процесом каталітичного крекінгу в псевдоз- рідженому шарі					

5.13. Визначення базової стратегії розвитку

Результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) було обрано цільові групи, для яких будемо пропонувати власну автоматизацію процесу каталітичного крекінгу та визначили стратегію охоплення ринку:

- стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із кількома сегментами, розробляючи для них окремо програми ринкового впливу. Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку (табл.5.13).

Таблиця 5.13 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентно-спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Зниження ціни до середньоринкової	Пропозиція із випробувальним періодом за символічну ціну.	1. Висока якість 2. Низька ціна 3. Регульований термін контракту і легке його розірвання	Стратегія лідерства по витратах
2.	Заклучення недовготривалих контрактів	Надання компаніям книги відгуків від інших фірм; Відеозаписи.	1. Можливість легко розірвати контракт. 2. Безкоштовне надання своїх фахівців для обслуговування.	Стратегія диференціації

5.14. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл.5.14).

Таблиця 5.14 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1.	Ні	Обов'язково. Потрібно показувати свої переважні риси над іншими. Зараз важко знайти такі фірми, які ще не мають своїх постачальників. Хіба фірми які розвиваються і знаходяться на початковому етапі.	Якщо при базовій стратегії не вдасться заповнити ринок (а скоріш за все так і буде), то будемо брати конкурентну ціну. Обов'язково слідувати за нововведеннями і новими розробками та конкурентними пропозиціями інших компаній та аналізувати. Дещо удосконалювати і переробляти під себе.	Стратегія розширення первинного попиту, з подальшим переходом до наступальної стратегії.

5.15. Визначення стратегії позиціонування

Таблиця 5.15 - Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	1.Платоспроможність. 2. Максимально тривалий контракт.	Стратегія диференціації	1. Продукція вищої якості за конкурентну 2. Можливість економити на ресурсах 3.Можливість випробувального періоду за символічну ціну. 4. Програми лояльності за тривалі контракти	1. Висока якість. 2. Тривалі контракти. 3. Програма лояльності.

5.16. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Таблиця 5.16 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Продукція актуальна. Наразі висока актуальність	Збільшення чистого прибутку. Покращення якості продукту та зменшення ціни	Якість продукції вища ніж у конкурентів. Дозволяє зекономити ресурси

5.17. Визначення меж встановлення ціни

Таблиця 5.17 - Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	відсутні	30-35 тис. грн	50-100 тис. грн	Верхня: 30 тис. грн Нижня: 23 тис. грн

5.18. Формування системи збуту

Таблиця 5.18 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Цільові клієнти хочуть мати систему, яка буде економити ресурси та покращувати якість своєї продукції. Вони будуть шукати у ціні щось середнє пропорційне.	Забезпечення якості	Нульовий рівень. Наша компанія сама перероблює нафту. До споживача доходить кінцевий продукт переробки нафти.	Заклучення контрактів про поставки в певні терміни із щорічним технічним обслуговуванням АСК із нашого боку.

5.19. Концепція маркетингових комунікацій

Таблиця 5.19 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1.	Бажання заключити контракт на низьку ціну на невеликий термін.	Все спілкування і обговорення вживу та по телефону. Можлива комунікація у соціальних мережах та по електронній пошті. Замовлення приймається офіційно лише після підписання паперів.	Якість залежить від ціни; Тривале партнерство = лояльності ціни; Вчасно і економно.	Показати переваги продукції і можливий вигравш у прибутку компанії. Зручність обслуговування та вчасні поставки.	Офіційний стиль. Додати факти, графіки. Шукати зустрічей. Пропозиції випробувального терміну для порівняння.

5.20. Опис трьох рівнів моделі товару

Таблиця 5.20 - Опис трьох рівнів моделі товару

Обрана альтернатива розвитку проекту	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Автоматизована системи виробництва		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	м ²	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	Система керування процесом каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі. Фактично це система датчиків та з'єднувальних шнурів, які вмонтовуються на потрібне місце (вказано у інструкції)	1x1	20 тис. грн Можна підключити на будь-якому зручному місці для обслуговуючого персоналу. U=360V; та U=220V. I=20mA;
	Якість: відповідає Європейським нормам та ДСТУ. Тестування проводиться перед відправкою, а також на місці.		
	Пакування – пожежостійкі бочки		
	Марка: –		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: <ul style="list-style-type: none">• можлива програма лояльності при підписаному довготривалому контракті;• Розрахунок готівкою/безготівковий;• пільги доставки.		
	Після продажу: <ul style="list-style-type: none">• забезпечення якості		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: було розроблено патент на корисну модель.			

Отже, переглянувши позитивні та негативні сторони процесу каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі, можна зробити висновки, що ідея є актуальною та нагальною для застосування. Програмне забезпечення та грамотно спроектована система автоматизованого керування дає можливість зменшити кількість обслуговуючого персоналу, підвищити якісь продукції, зменшити витрати часу та надає можливість віддалено керувати процесом. Технологія є доступною в плані ціни та застосування на підприємствах чи установах.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язана задача створення нової системи керування реактором у процесі каталітичного крекінгу.

В ході виконання магістерської дисертації було розглянуто технологічний процес каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі.

Основні наукові результати роботи полягають у наступному:

- проаналізовано існуючі рішення в області систем керування реактором у процесі каталітичного крекінгу.
- розроблено підсистему керування співвідношенням потоків основного та поверненого газойлю як вкладеної частини каскадної системи керування концентрацією вихідного потоку.
- проведено дослідження ефективності використання нечіткого регулятора для основного контуру керування концентрацією бензину.
- проведено дослідження ефективності використання нейронних мереж для основного контуру керування концентрацією бензину.
- порівняльний аналіз розроблених систем керування показав найбільшу ефективність використання нейромережевого NARMA-L2 регулятора

Детальний аналіз роботи розроблених рішень наведено в таблиці нижче:

Таблиця В1:

Критерій	Система керування з використанням ПІ-регулятора	Система керування з використанням нечіткого регулятора та співвідношення витрат	Система керування з використанням NARMA-L2 регулятора
Час виходу на установлений рівень, год	7	3	1,6
Перерегулювання, %	10	0	0
Амплітуда коливань, %	0	0	0
Статична помилка	0	0	0

Також в ході роботи було розроблено стартап-проект: автоматизація процесу каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі. Для запропонованого

продукту проведено детальний аналіз ринку, внутрішнього та зовнішнього маркетингового середовища. В результаті був розроблений стратегічний план розвитку та сформульований управлінський напрямок роботи компанії, виділено сильні та слабкі сторони проекту та розроблено комерційну пропозицію для потенційних клієнтів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sadeghbeigi Reza Fluid Catalytic Cracking Handbook / Reza Sadeghbeigi // Copyright r 2012 Elsevier Inc. All rights reserved p – 376 ISBN : 978-0-12-386965-4
2. Касаткин А.Г. «Основные процессы и аппараты химической технологии» [Текст] / А. Г. Касаткин // – М.: «Государственное научно-техническое издательство химической литературы». 7-е изд., 1961. – 831с.
3. Б. А. Пашаева Применение метода управления на основе прогнозирующих моделей в процессах каталитического крекинга нефти Молодой научно-технический весник Журнал Инженерный вестник Дона 2013
4. G. Pandimadevi, P. Indumathi, V. Selvakumar Design of Controllers for a Fluidized Catalytic Cracking Process Chemical Engineering Research and Design chemical engineering research and design 8 8 (2010) 875–880 Published by Elsevier B.V.
5. А. С. Захарчук, О. В. Ситніков Автоматизація процесу каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі [Текст]: дип. проект.: захищено 2017 р. / Захарчук Анастасія Сергіївна. – К., 2017 р.
6. Ахметов С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа: учебное пособие для вузов / Ахметов С. А. – Уфа: Гилем, 2002, – 673 с.
7. Хоршев В.И. Математические модели объектов управления. [Текст] / В. И. Хоршев // – М.: МИТХТ им. М. В. Ломоносова, 2001. – 75 с.
8. Захарчук А.С., Ситніков О. В., Данькевич А. О. Математична модель реактора у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому середовищі / А. С. Захарчук, О.В. Ситніков, А. О. Данькевич // «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження», 2017. – № 1(15). С. 101-105
9. Захарчук А. С., Ситніков О. В. Матеріальний баланс процесу каталітичного крекінгу / А. С. Захарчук, О. В. Ситніков // Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування (теорія, практика, історія, освіта) Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції – м. Київ, 14-18 грудня 2015 р.

10. Захарчук А. С., Черьопкін Є. С. Система керування процесом каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі [Текст] / А. С. Захарчук, Є. С. Черьопкін // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології [Текст]: Тези доповідей Дванадцятої науково-практичної конференції студентів. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 05–06 грудня 2018 р. [Електронний ресурс]. / 90 с. : іл. – Бібліогр.: с. 67–68 – Режим доступу: [http://ahv.kpi.ua/conferences/ACIT-2018\(winter\).pdf](http://ahv.kpi.ua/conferences/ACIT-2018(winter).pdf) – вільний. – Загол. з екрана. – Мова укр.
11. Дьяконов В. П. Matlab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании / В. П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 576с.
12. Коржик М.В. Програмні засоби моделювання систем керування: Метод. вказівки до викон.робіт комп. практ. для студ. напр. «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Уклад.: М.В. Коржик. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 44 с.
13. Поспелов Д.А. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова.- М.: Наука, 1986.- 312с.
14. Захарчук А. С., Черьопкін Є С. Моделювання системи керування реактором у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі у середовищі Simulink [Текст] / А. С. Захарчук, Є. С. Черьопкін // IV Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами» Електронний ресурс, свід. ДК №1786 від 18.05., 2017-11-22. – К: НУХТ, 2017 р. – 295 с.
15. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления / Бесекерский В. А., Попов Е. П. – Москва: Москва, 1975, – 711 ст.
16. М.А. Новотарський, Б.Б. Нестеренко. Штучні нейронні мережі: обчислення // Праці Інституту математики НАН України. – Т50. – Київ: Ін-т математики НАН України, 2004. – 408 с.
17. Кононюк А.Ю.К65 Нейронні мережі і генетичні алгоритми – К.:«Корнійчук», . 2008. – 446с.