

**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 665.642:681.5

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ А.І.Жученко  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“15” грудня 2018 р.

**Магістерська дисертація**

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності **151 – Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології**  
(код і назва)

на тему: Система керування технологічного процесу коксування залишків з нафти

Виконав: студент 6 курсу, групи ЛА-71мп

(шифр групи)

Вяхірев Іван Ігорович

(прізвище, ім’я, по батькові)

(підпис)

Керівник зав. кафедри, д.т.н., проф. Жученко А. І.

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

(підпис)

Консультант \_\_\_\_\_

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, 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 – 2018 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-професійною програмою

Спеціальність 151- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ А.І.Жученко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«30» жовтня 2018 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

**Вяхіреву Івану Ігоровичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації *Система керування технологічного процесу коксування залишків з нафти* \_\_\_\_\_

науковий керівник дисертації зав. кафедри, д.т.н., проф. Жученко А. І. ,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «12» листопада 2018 р. № 4139-с

2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження *Технологічний процес коксування залишків з нафти* \_\_\_\_\_

4. Вихідні дані *Температура сировини на вході – 360°C; температура суміші на виході – 420°C; витрата палива – 0,364 кг/с;* \_\_\_\_\_

5. Перелік завдань, які потрібно розробити *опис технологічного процесу коксування залишків з нафти; технологічний процес коксування залишків з нафти як об'єкт автоматизації; побудова та дослідження спрощеної математичної моделі процесу коксування; створення системи керування у процесі коксування залишків з нафти; розробка стартап-проекту* \_\_\_\_\_

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу зображення вікон використаних програм, Power Point-слайди для представлення напрацювань та результатів магістерської дисертації \_\_\_\_\_

7. Орієнтовний перелік публікацій

Вяхірев І. І. Двокамерна піч у процесі уповільненого коксування як технологічний об'єкт керування [Текст] / І. І. Вяхірев, З. Я. Козаневич // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології : Тези доповідей Десятої науково-практичної

конференції студентів; Київ, 8-9 грудня 2016 р. – К.: КПІ ім. І. Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2016. – 92 с.: іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – С. 59–60.

Вяхірев І. І. Математична модель двокамерної печі у процесі уповільненого коксування [Текст] / І. І. Вяхірев, З. Я. Козаневич // Матеріали Четвертої Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ-2017); Київ, 19–20 квітня 2017 р. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 204 с.: іл. – С. 118. – Бібліогр.: в кінці тез. – С. 118. – 60 пр. – ISBN 978-966-622-826-3.

#### 8. Консультанти розділів дисертації\*

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

#### 9. Дата видачі завдання 06 листопада 2018 року

##### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Збір інформації про процес коксування залишків з нафти. Формулювання задачі автоматизації процесу.	08.11.18	
2	Розробка математичної моделі двокамерної печі у процесі коксування залишків з нафти	14.11.18	
3	Дослідження системи керування температурним режимом у двокамерній печі	22.11.18	
4	Підготовка матеріалів з результатами досліджень до публікації тез доповідей та участі у конференції	03.12.18	
6	Розробка стартап-проекту «Керування процесом коксування залишків з нафти »	06.12.18	
8	Обробка та узагальнення результатів дослідження процесу коксування залишків з нафти. Оформлення пояснювальної записки	08.12.18	
9	Підготовка матеріалів з результатами досліджень процесу коксування залишків з нафти. Підготовка слайдів для PowerPoint презентації.	10.12.18	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

І.І. Вяхірев  
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_

А.І. Жученко

\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація присвячена розв'язанню задачі керування процесом коксування суміші у двокамерній печі у процесі коксування залишків з нафти.

У роботі досліджено двокамерну піч як технологічний об'єкт керування, розроблено математичну модель процесу коксування, розроблено експертну систему діагностування аварійних ситуацій, розроблено системи керування технологічним процесом коксування.

За результатами досліджень теми магістерської дисертації опубліковано 2 тезисну доповідь на конференції.

Пояснювальна записка до магістерської дисертації має обсяг 109 сторінки та містить 34 рисунки, 14 таблиць, 11 літературних джерела.

Результати роботи можуть бути використані та впроваджені в системах керування процесом коксування залишків з нафти. Я продовжую вивчення та розробку цього продукту для подальшого його впровадження на підприємствах.

Ключові слова: система керування, безперервне коксування, залишки нафти, димові гази двокамерна піч, коксування, регулятор, об'єкт керування, математична модель, канал збурення, канал керування, нечіткий регулятор, стартап.

## ABSTRACTS

The master's dissertation is devoted to solving the problem of developing a control system for the delayed coking of petroleum residues.

In work the is two-chamber furnace investigated as a technological control object, developed a mathematical model of the delayed coking, developed an expert system for diagnosing emergency situations, developed the control system of the technological cooling process.

According to the research results of the topic of the master's dissertation, 1 thesis report was published at the conference.

The explanatory note for the master's dissertation is 109 pages and contains 34 pictures, 14 tables, 11 literary sources.

The results of the work can be used and implemented in the control systems of the cracking-gasoline stabilization process. I continue to study and develop this product for further implementation at the enterprises.

Keywords: control system, two-chamber furnace, continuous coking, oil residues, flue gases,, automation, heat exchanger, technological process, scheme of automation, control and regulation, signaling and blocking, control object, transfer function, startup.

## **ЗМІСТ**

<b>ВСТУП .....</b>	<b>6</b>
<b>1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС КОКСУВАННЯ ЗАЛИШКІВ З НАФТИ , ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ .....</b>	<b>7</b>
1.1. Термічний крекінг.....	7
1.2. Опис технологічного процесу коксування залишків з нафти... <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
1.3. Обґрунтування розробки для нової схеми автоматизації технологічного процесу коксування залишків з нафти .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.4. Аналіз технологічного процесу коксування залишків з нафти, як об'єкта автоматизації .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
<b>2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОКСУВАННЯ ЗАЛИШКІВ З НАФТИ .....</b>	<b>19</b>
3.1. Моделювання статичного режиму роботи двокамерної печі... <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
3.2. Моделювання динамічного режиму двокамерної печі .....	25
<b>3. СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ .....</b>	<b>31</b>
4.1. Обґрунтування вибору типу регулятора.....	31
4.2. Розрахунок та настройка системи з ПД-регулятором.....	34
4.3. Обґрунтування та типові сценарії використання нечіткої логіки в системах керування	40
4.4. Розрахунок та дослідження системи керування коксуванням залишків з нафти з нечітким регулятором .....	42
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>72</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА .....</b>	<b>73</b>

Абревіатури та скорочення:

ДКП – двокамерна піч

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика

АФХ – амплітудно-фазова характеристика

СА – схема автоматизації

ПІ – пропорційно-інтегральний

ПІД – пропорційно-інтегрально-диференціальний

• Умовні позначення:

t – температура

F – витрата

C – теплоємність

$\alpha$  – коефіцієнт теплопередачі

Kp – коефіцієнт передачі

$\rho$  – густина

V – об'єм

$\Theta_{10}$ -  $\Theta_{23}$  – температури сировини і суміші

$\Theta_{d1}$  -  $\Theta_{d3}$  – температури димових газів

• Одиниці вимірювання:

год – година

Дж – джоуль

°C – градус Цельсія

кг – кілограм

кПа – кілопаскаль

м<sup>3</sup> – метр кубічний

МПа – мегапаскаль

с – секунда

хв – хвилина



## ВСТУП

Темою моєї магістерської дисертація є «Система керування технологічного процесу коксування залишків з нафти». Коксування нафти - проводиться для одержання нафтового коксу і дистиляту широкого фракційного складу. Як сировину для нафтового коксу використовують відбензинені нафти, залишки первинної переробки - мазути, напівгудрони і гудрони, продукти вторинного походження, важкі газойлі каталітичного крекінгу, смоли піролізу, а також природні асфальти і залишки масляного виробництва.

В даній магістерській дисертації новизною виступає оптимальний синтез системи керування двокамерної печі у процесі коксування залишків з нафти.

# 1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ УПОВІЛЬНЕНОГО КОКСУВАННЯ ЗАЛИШКІВ НАФТИ, ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗІЦІЇ

## 1.1. Опис технологічного процесу уповільненого коксування залишків нафти та його основні параметри

Процес коксування в неопалюваних камерах, або процес уповільненого коксування, отримав широке поширення. Установка процесу уповільненого коксування складається із кількох коксових камер, які працюють по черзі, що обумовлює неперервну роботу установки [1]. На рис.1.1 наведено технологічна схема уповільненого коксування залишків нафти.

Холодна або гаряча сировина насосом (M1 і M2) подається в конвекційній частину двокамерної печі (ДКП) 1, після чого проходить радіаційну частину першої зони печі. Нагріта до 360°C сировина поступає на верхню каскадну тарілку нижньої частини колони 3 і, стікаючи по тарілках, зустрічається з парами продуктів коксування, які поступають в нижню частину колони з камери.

В результаті контакту сировина нагрівається і збагачується рециркулятом. Суміш речовини та рециркуляту насосом M4 подається в череневий екран другої радіаційної секції, де нагрівається і поступає в стельовий екран другої зони печі 2.

В череневий екран другої радіаційної секції подається перегріта водяна пара, яка різко збільшує швидкість проходження сировини в трубах печі, зменшуючи час перебування сировини в зоні високих температур, уповільнює крекінг і тим самим попереджує коксування змійовика.

Нагріта суміш поступає в нижню частину однієї із коксових камер. Водяний пар, газ і пари дистилляту виходять з верху камери.

Суміш газу і пару з коксової камери 4 поступає в нижню секцію випарювальної колони 3. Із верхньої частини колони 3 відводять водяну пару, водяні пари газу і бензину, які після проходження конденсатора 5 поступають в ємність 6.

Колона зрошується бензином з ємності 6, яка є водо-газовідділювачем. Пари газу з ємності 6 виходять через відбійник 7, поступає на приймальну лінію компресору.

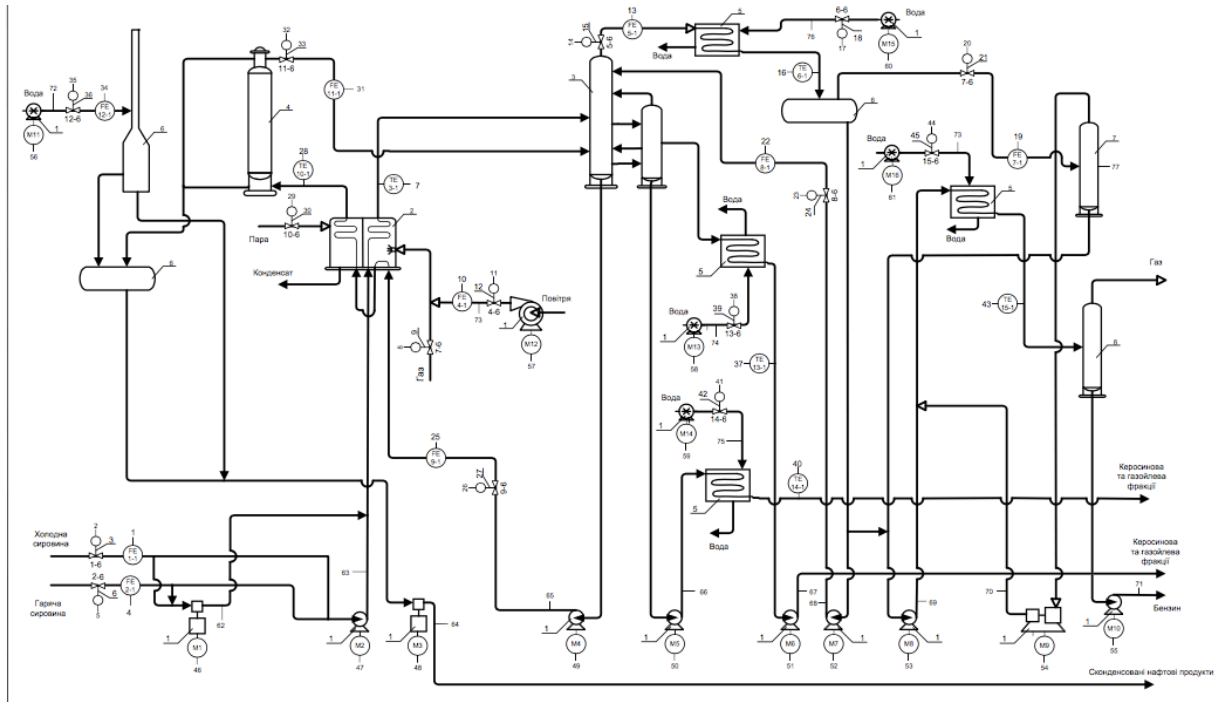


Рис. 1.1 — Технологічна схема процесу уповільненого коксування залишків нафти:  
 1 - насоси, 2 – двокамерна піч, 3 – випарювальна колона, 4 – коксова камера, 5 – конденсатори, 6 -  
 ємності, 7 – відбійник, 8 – газосепаратор

Регулювання печей. У хіміко-технологічних процесах печі використовують для нагріву технологічного потоку до високих температур за рахунок теплоти горіння. У залежності від конструкції печі передача тепла здійснюється шляхом радіації або конвективним теплообміном між димовими газами та технологічним потоком. У якості прикладу розглянемо піч, у якій технологічний потік, проходячи по трубах, нагрівається димовими газами, утворюються при горінні палива. (рис.1.2)

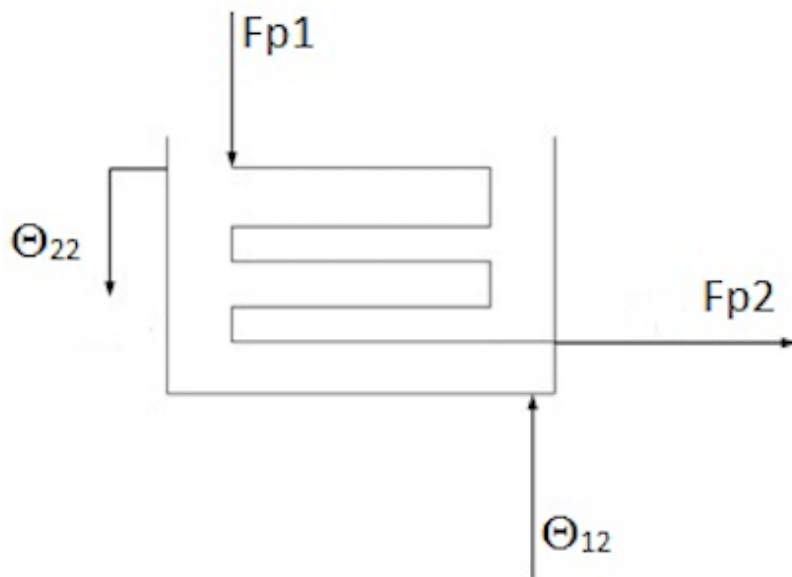


Рис. 1.2 Розрахункова схема двокамерної печі.

Для нагріву суміші використовується тільки радіаційних теплообмін, а для нагріву сировини і конвективний і радіаційний.

## 1.2. Аналіз існуючих систем автоматизації технологічного процесу уповільненого коксування залишків нафти

На сьогоднішній день існують декілька варіантів регулювання трубчатих печей. На рис.1.3 наведенні 4 варіанти регулювання основного параметра трубчатих печей.

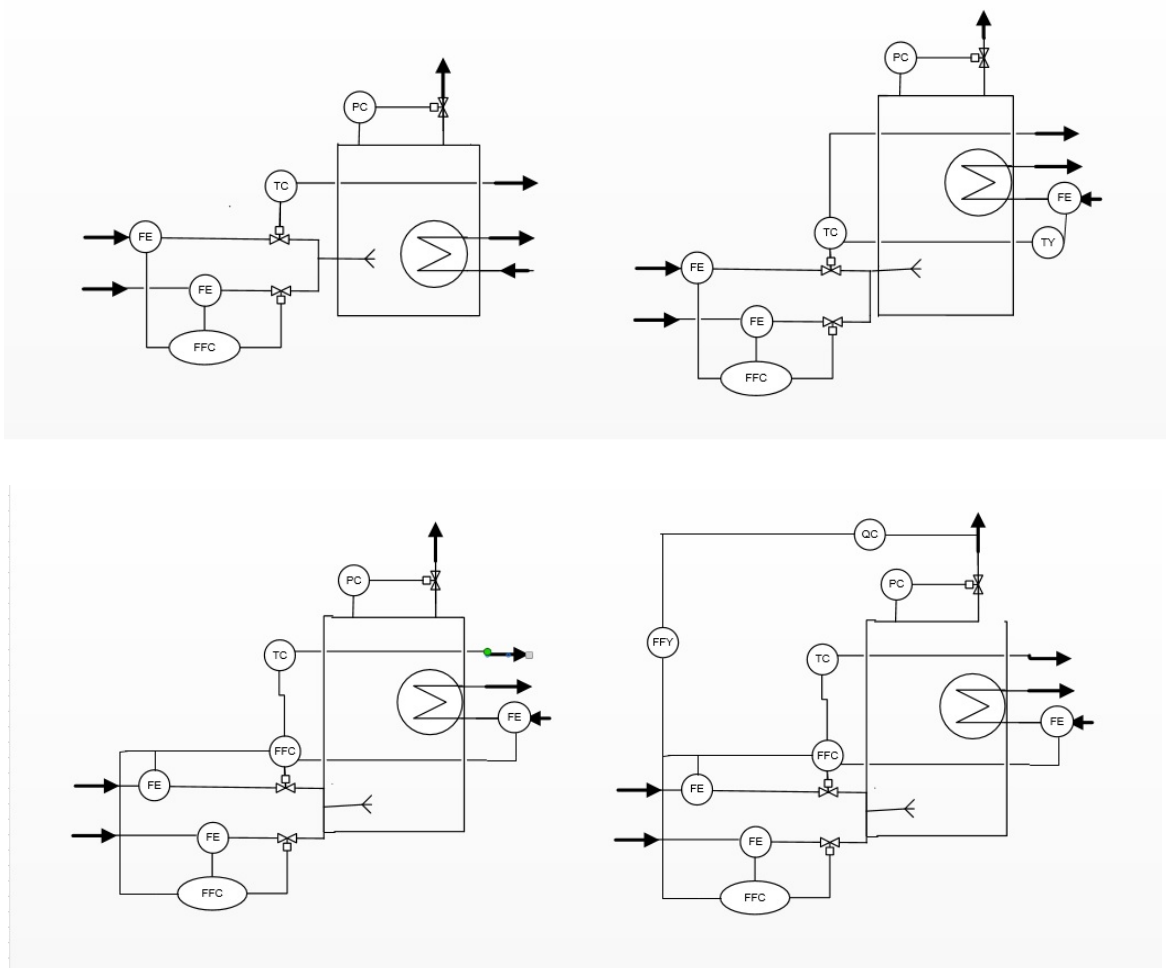


Рис. 1.3 Існуючі схеми регулювання параметрів трубчатої печі.

Розглянемо приклади систем автоматизації печі, забезпечення виконання завдання регулювання та вказаних обмежень.

Варіант 1 представляє систему з трьох контурів регулювання. Регулятор 1 стабілізує вихідну температуру технологічного потоку на заданому значенні. Регулятор 2 забезпечує подачу повітря на пальники в заданому відношенні до витрати палива. Регулятор 3 підтримує задане розрідження в печі змінною відводу димових

газів. Ця система автоматизації задовольняє всіх вказаним умовам, однак внаслідок великого запізнювання якості перехідних процесів може виявитися незадовільною.

Варіант 2 і 3 дозволяє зменшити вплив збурень за витратою нагріву речовини за рахунок застосування комбінованої АСР температури на виході або каскадної системи регулювання відношення витрати палива та нагріву речовини з корекцією за вихідною температурою.

Варіант 4 включає каскадну систему регулювання температури на виході, в якій температуру димових газів у печі використовують, як проміжну координату. Допоміжний контур регулювання дозволяє підвищити якість регулювання за збуреннях по каналу керування.

### 1.3. Аналіз двокамерної печі як технологічного об'єкту керування

Двокамерні печі використовують в установках, де потрібно створити різні режими нагрівання для різних середовищ, що беруть участь в технологічному процесі.

В процесі уповільненого коксування в двокамерній печі (ДКП) спочатку нагрівають в камері 1 сировину, що подається в ректифікаційну колону, а потім в камері 2 нагрівається суміш кубового залишку з цієї колони та рециркуляту перед її поступленням в коксову камеру. Схема такої ДКП наведена на рисунку 1.3

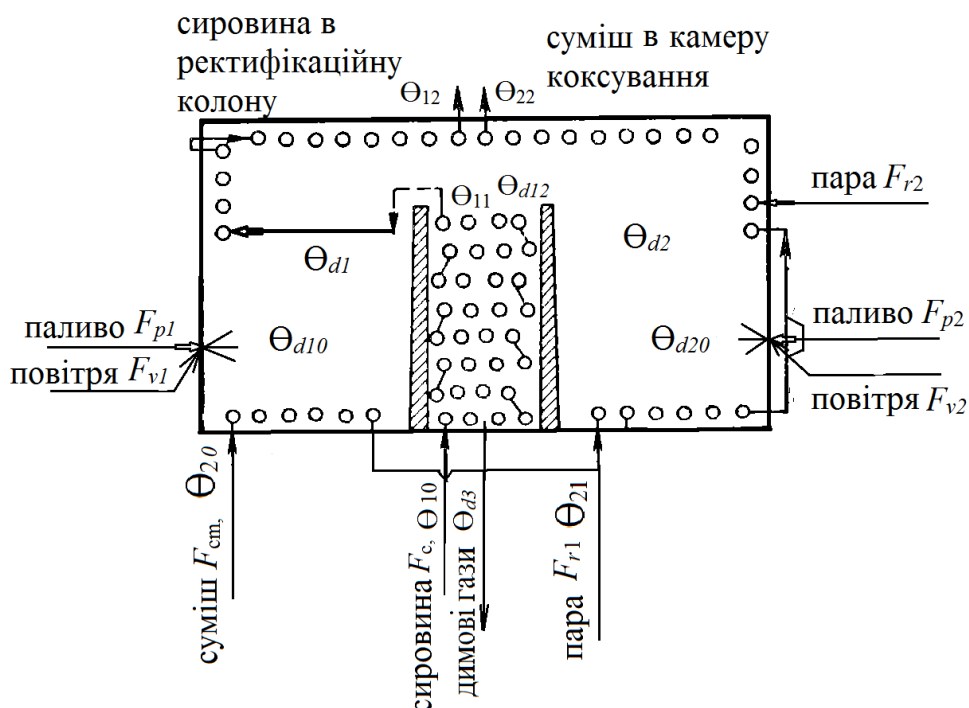


Рис.1.3 Схема ДКП в процесі уповільненого коксування:

$\Theta_{10}$ ,  $\Theta_{20}$ ,  $\Theta_{11}$ ,  $\Theta_{12}$ ,  $\Theta_{21}$ ,  $\Theta_{22}$ ,  $\Theta_{23}$  – температури сировини і суміші на вході в ДКП, температури сировини на виході з конвективної зони та стельового екрану першої камери, температури суміші на виході з черневих екранів першої та другої камери та на виході з ДКП відповідно;  $\Theta_{d1}$ ,  $\Theta_{d2}$ ,  $\Theta_{d12}$ ,  $\Theta_{d3}$  – температури димових газів в зонах горіння 1-ї та 2-ї камер, на вході в зону конвекції та на виході з неї;  $F_c$ ,  $F_{cm}$ ,  $F_{p1}$ ,  $F_{p2}$ ,  $F_{v1}$ ,  $F_{v2}$ ,  $F_{r1}$ ,  $F_{r2}$  – витрати сировини, суміші, палива та пари в камерах 1 і 2, перегрітої пари в черневий та стельовий екрани другої камери.

Сировина насосами подається в конвекційний змішувач двосекційної печі, після чого проходить стельовий радіаційний екран першої камери печі. Нагріта до  $350^{\circ}\text{C}$  сировина поступає в ректифікаційну колону, де нагрівається і збагачується рециркулятом. Суміш кубового залишку цієї колони та рециркуляту насосом подається послідовно в черневий екран першої камери, черневий та стельовий екрани другої камери, де нагрівається перед поступленням в нижню частину коксової камери[1].

В черневий та стельовий екрани другої камери подається перегріта водяна пара, яка різко збільшує швидкість проходження сировини в трубах печі, зменшуючи час перебування сировини в зоні високих температур, уповільнює крекінг і тим самим попереджує коксування змішувача.

Задача керування полягає в забезпеченні заданих значень температур середовищ на обох виходах з печі: сировини та суміші.

Основними регульованими величинами є: температура сировини на виході з першої камери  $\Theta_{12}$  та температура суміші на виході з другої камери  $\Theta_{22}$ . Керувальні впливи: витрата палива на форсунки першої  $F_{p1}$  та другої  $F_{p2}$  камер відповідно.

Потрібно також регулювати час перебування суміші в черневих  $\tau_1$  та стельових  $\tau_2$  екранах другої камери печі за допомогою подачі перегрітої пари в черневий  $F_{r1}$  і стельовий  $F_{r2}$  екрани.

ДКП має чотири регульовані величини:  $\Theta_{12}$ ,  $\Theta_{22}$ ,  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ , відповідні 4 керувальні впливи  $F_{p1}$ ,  $F_{p2}$ ,  $F_{r1}$ ,  $F_{r2}$  та ряд збурень, з яких основні  $F_c$ ,  $F_{cm}$ ,  $\Theta_{10}$ ,  $\Theta_{20}$ .

Структурно-параметрична схема ДКП наведена на рис.1.4

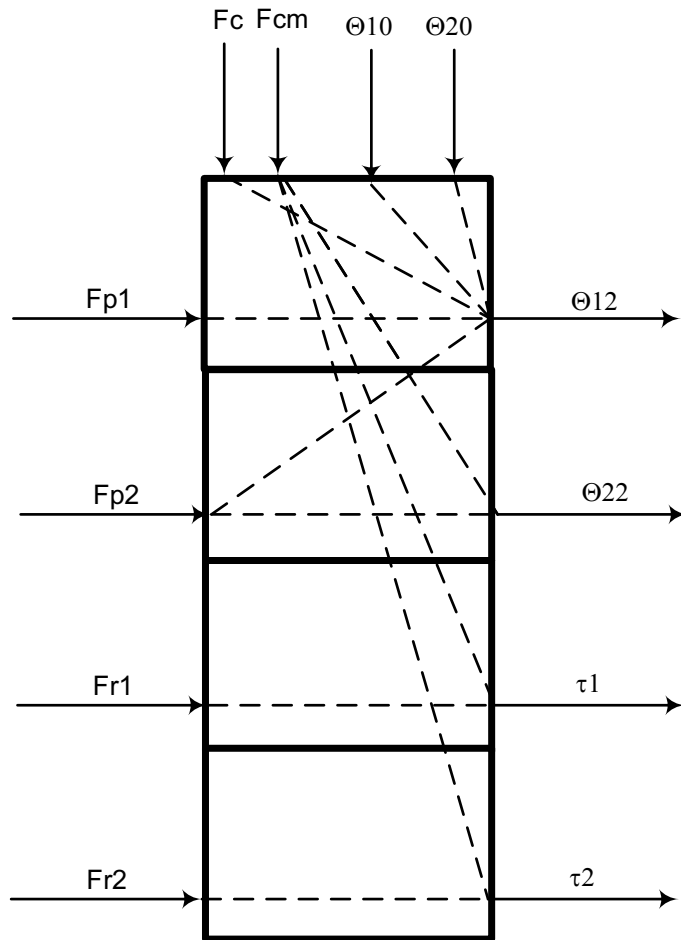


Рис.1.4 Структурно-параметрична схема ДКП

Питання регулювання  $\tau_1$  і  $\tau_2$  можна розглядати незалежно від регулювання  $\Theta_{12}$  і  $\Theta_{22}$ , бо вони зв'язані тільки через збурення  $F_c$  (витрата сировини).

Для ДКП основними акумулюючими ємностями, які істотно впливають на динамічні характеристики ДКП в цілому, є теплові ємності: сировини в конвекційній зоні ДКП та радіаційній (стельовий екран) зоні 1-ї камери, суміші в обох черевних екранах та стельовому екрані 2-ї камери, димових газів в 1-й та 2-й камерах і в конвекційній зоні ДКП. Всього 7 рівнянь теплових балансів і відповідно 7 диференціальних рівнянь, якщо ці ємності вважати об'єктами з зосередженими чи лінійно розподіленими параметрами[2].

Слід врахувати і істотний вплив  $F_{p2}$  не тільки на  $\Theta_{22}$ , а і на  $\Theta_{12}$  внаслідок зміни сумарної витрати димових газів  $F_{d1}+F_{d2}$ , що поступають в зону конвекції, а також їх температури  $\Theta_{d12}$  на вході в цю зону. Вплив другої керувальної дії  $F_{p1}$  на  $\Theta_{22}$  (другого перехресного зв'язку) значно менший, бо суміш не проходить крізь зону конвекції.

Таким чином ДКП є об'єктом з перехресними внутрішніми зв'язками як це зображено на рис.1.5

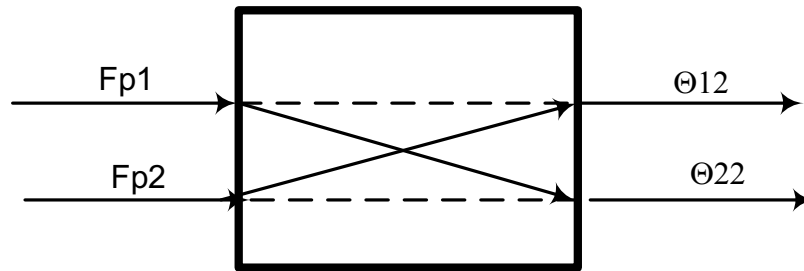


Рис.1.5 Структурно-параметрична схема ДКП як об'єкта з перехресними внутрішніми зв'язками.

ДКП є об'єктом з перехресними внутрішніми зв'язками. Якщо нехтувати впливом зміни витрат палива  $F_{p1}$  на зміну температури суміші на виході з череневого екрану першої камери  $\Theta_{21}$ , тоді процес нагріву суміші в другій камері до температури  $\Theta_{22}$  можна вважати залежним тільки від витрати палива в другій камері  $F_{p2}$ , а параметр  $\Theta_{21}$  розглядати як збурення.

Таке припущення може бути обгрунтоване і там, що згідно закону Стефана-Больцмана, кількість тепла, передано радіацією, залежить від різниці чотирьох степеней температур випромінювача (димові гази) і сприймачи (радіаційні труби) [2]. А максимальна температура в зоні спалювання визначається складом палива [3], який може бути прийнятий постійним.

Тому в подальшому будемо розглядати процес регулювання температури суміші на виході з ДКП  $\Theta_{22}$  за допомогою керувального впливу  $F_{p2}$  при збуренні по температурі суміші на вході в другу камеру  $\Theta_{21}$ . Цей процес описується системою рівнянь.

## **2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ УПОВІЛЬНЕНОГО КОКСУВАННЯ ЗАЛИШКІВ НАФТИ І ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИК**

### **2.1 Основні рівняння теплових балансів для двокамерної печі**

Для ДКП основними акумулюючими ємностями, які істотно впливають на динамічні характеристики ДКП в цілому, є теплові ємності: сировини в конвекційній зоні ДКП та радіаційній (стельовий екран) зоні 1-ї камери, суміші в обох черневих екранах та стельовому екрані 2-ї камери, димових газів в 1-й та 2-й камерах і в конвекційній зоні ДКП. Всього 7 рівнянь теплових балансів і відповідно 7

диференційних рівнянь, якщо ці ємності вважати об'єктами з зосередженими чи лінійно розподіленими параметрами [2].

При створенні математичної моделі на основі теплових балансів акумулюючих ємностей слід оцінити вплив кожної з них на динаміку каналів  $F_{p1} \rightarrow \Theta_{12}$ ,  $F_{p2} \rightarrow \Theta_{22}$ ,  $F_{p2} \rightarrow \Theta_{12}$  та прийняти допущення про нехтування динамікою деяких з них, використовуючи для них тільки статичний режим.

При складанні рівнянь теплових балансів кількість тепла, переданого конвекцією, пропорційна різниці середніх діючих температур димових газів і сировини чи суміші, а кількість тепла переданою радіацією, приймаємо згідно рівнянь Стефана-Больцмана [2].

Розрахункова схема ДКП, використана для складання теплових балансів основних акумулюючих ємностей ДКП наведено на рис.2.1

Допущення:

1. Питомі теплоємності димових газів і суміші – постійні і не залежать від температури.
2. Розподіл температур сировини в конвекційній і радіаційній зонах камер, а також суміші в радіаційній зоні 2-ї камери носять лінійних характер.
3. Температури  $\theta_{d10}$  і  $\theta_{d20}$  визначаються складом палива і приймаються постійними.
4. Кількість димових газів  $F_{d1}$  і  $F_{d2}$ , що утворюються внаслідок спалювання, визначаються витратами палива  $F_{p1}$  і  $F_{p2}$  і витратами повітря  $F_{v1}$  і  $F_{v2}$ .
5. Витрати повітря  $F_{v1}$  і  $F_{v2}$  подаються пропорційно витратам палива  $F_{p1}$  і  $F_{p2}$  з коефіцієнтом пропорційності  $\alpha$ .

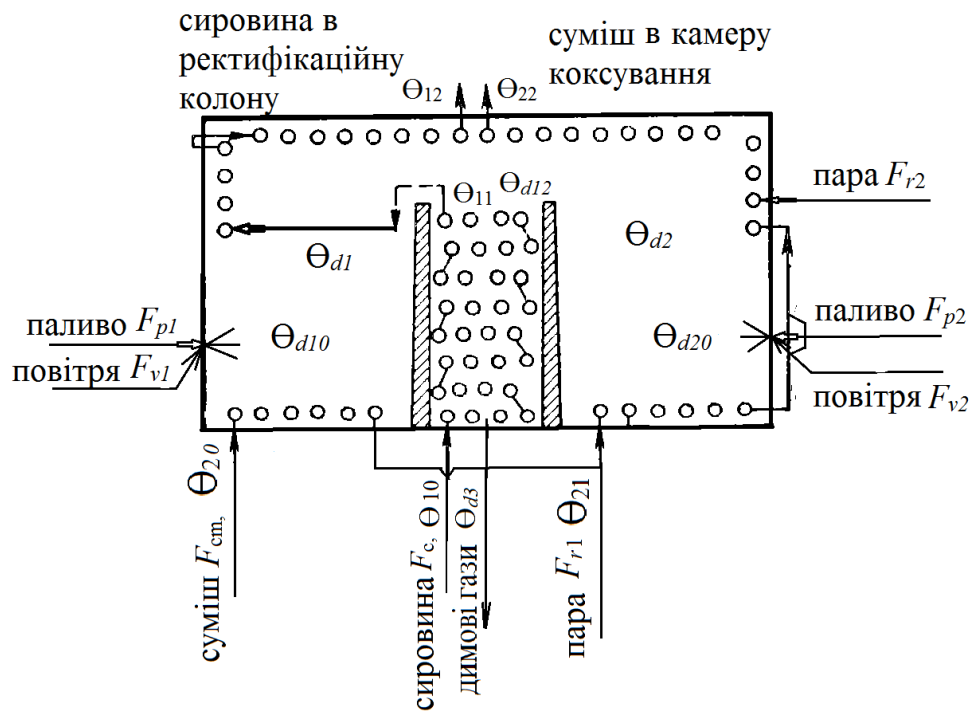


Рис.2.1 Розрахункова схема ДКП

1) тепловий баланс для акумулючої ємності сировини в камері конвекції:

$$F_s C_s (\theta_{10} - \theta_{11}) + K_k S_k \left[ \frac{\theta_{d12} + \theta_{d3}}{2} - \frac{\theta_{10} + \theta_{11}}{2} \right] = V_{sk} C_s \rho_s \frac{d}{dt} \left[ \frac{\theta_{10} + \theta_{11}}{2} \right], \text{ де: (2.1)}$$

- тепло, яке поступило з сировиною в ДКП  $F_s C_s \theta_{10}$ ,

- тепло, яке вийшло зі сировиною з зони конвекції  $F_s C_s \theta_{11}$ ,

- тепло, яке було передано до сировини в результаті конвекції в конвективній зоні

$$K_k S_k \left[ \frac{\theta_{d12} + \theta_{d3}}{2} - \frac{\theta_{10} + \theta_{11}}{2} \right],$$

- тепло, яке було акумульоване в сировині в конвективній зоні  $V_{sk} C_s \rho_s \frac{d}{dt} \left[ \frac{\theta_{10} + \theta_{11}}{2} \right]$ .

2) тепловий баланс для акумулючої ємності димових газів в камері конвекції:

$$(F_{d1} + F_{d2}) C_d (\theta_{d12} - \theta_{d3}) - K_k S_k \left[ \frac{\theta_{d12} + \theta_{d3}}{2} - \frac{\theta_{10} + \theta_{11}}{2} \right] = V_{dk} C_d \rho_d \frac{d}{dt} \left[ \frac{\theta_{d12} + \theta_{d3}}{2} \right];$$

де:

(2.2)

- тепло, яке поступило з димовими газами в зону конвекції  $(F_{d1} + F_{d2}) C_d \theta_{d12}$ ,

- тепло, яке вийшло з димовими газами з зони конвекції  $(F_{d1} + F_{d2}) C_d \theta_{d3}$ ,

- тепло, яке було передано від димових газів до сировини в результаті конвекції

$$K_k S_k \left[ \frac{\theta_{d12} + \theta_{d3}}{2} - \frac{\theta_{10} + \theta_{11}}{2} \right],$$

- тепло, яке було акумульоване в димових газах в конвективній зоні

$$V_{dk} C_d \rho_d \frac{d}{dt} \left[ \frac{\theta_{d12} + \theta_{d3}}{2} \right].$$

3) тепловий баланс для акумулючої ємності сировини в стельовій частині радіаційної зони 1-ї камери печі:

$$F_s C_s (\Theta_{11} - \Theta_{12}) + K_{r1} S_{r1} [\Theta_{d1}^4 - (\frac{\Theta_{11} + \Theta_{12}}{2})^4] = V_{s1} C_s \rho_s \frac{d}{dt} [\frac{\Theta_{11} + \Theta_{12}}{2}]; \quad \text{де:} \quad (2.3)$$

- тепло, яке поступило з сировиною в стельову частину радіаційної зони 1-ї камери ДКП  $F_s C_s \Theta_{11}$ ,

- тепло, яке вийшло з сировиною з стельової частини радіаційної зони 1-ї камери  $F_s C_s \Theta_{11}$ ,

- тепло, яке було передано до сировини в результаті радіації в стельовій частині радіаційної зони 1-ї камери  $K_{r1} S_{r1} [\Theta_{d1}^4 - (\frac{\Theta_{11} + \Theta_{12}}{2})^4]$ ;

- тепло, яке було акумульоване в сировині в стельовій частині радіаційної зони 1-ї камери  $V_{s1} C_s \rho_s \frac{d}{dt} [\frac{\Theta_{11} + \Theta_{12}}{2}]$ ;

4) тепловий баланс для акумулючої ємності димових газів в радіаційній зоні 1-ї камери печі:

$$F_{d1} * C_d (\Theta_{d0} - \Theta_{d1}) - K_{r1} S_{ch1} \left[ \Theta_{d1}^4 - \left( \frac{\Theta_{20} + \Theta_{21}}{2} \right)^4 \right] - K_{r1} S_{r1} [\Theta_{d1}^4 - (\frac{\Theta_{11} + \Theta_{12}}{2})^4] = V_{dr1} * C_d * \rho_d \frac{d}{dt} [\frac{\Theta_{d1} + \Theta_{d10}}{2}]; \quad \text{де:} \quad (2.4)$$

- тепло, яке поступило з димовими газами в радіаційну зону 1-ї камери

$F_{d1} * C_d \Theta_{d0}$ ,

- тепло, яке вийшло з димовими газами з радіаційної зони 1-ї камери  $F_{d1} C_d \Theta_{d1}$ ,

- тепло, яке було передано в результаті радіації в череневій і стельовій частинах

1-ї камери ДКП  $K_{r1} S_{ch1} \left[ \Theta_{d1}^4 - \left( \frac{\Theta_{20} + \Theta_{21}}{2} \right)^4 \right] + K_{r1} S_{r1} [\Theta_{d1}^4 - (\frac{\Theta_{11} + \Theta_{12}}{2})^4]$ ,

- тепло, яке було акумульоване в димових газах 1-ї камери ДКП

$V_{dr1} * C_d * \rho_d \frac{d}{dt} [\frac{\Theta_{d1} + \Theta_{d10}}{2}]$ .

5) тепловий баланс для акумулючої ємності суміші в череневій частині радіаційній зони 1-ї камери:

$$F_{sm} C_{sm} (\Theta_{20} - \Theta_{21}) + K_{r1} S_{ch1} [\Theta_{d1}^4 - (\frac{\Theta_{20} + \Theta_{21}}{2})^4] = V_{sm1} C_{sm} \rho_{sm} \frac{d}{dt} [\frac{\Theta_{20} + \Theta_{21}}{2}]; \quad \text{де:}$$

(2.5)

- тепло, яке поступило з сумішшю в череневу частину радіаційної зони 1-ї камери

ДКП  $F_{sm} C_{sm} \Theta_{20}$ ,

- тепло, яке вийшло зі сумішшю з череневої частини радіаційної зони 1-ї камери

$$F_{sm} C_{sm} \Theta_{21},$$

- тепло, яке було передано до суміші в радіаційній зоні 1-ї камери

$$K_{r1} S_{ch1} [\Theta_{d1}^4 - (\frac{\Theta_{20} + \Theta_{21}}{2})^4],$$

- тепло, яке було акумульоване в суміші в радіаційній зоні 1-ї камери

$$V_{sm1} C_{sm} \rho_{sm} \frac{d}{dt} [\frac{\Theta_{20} + \Theta_{21}}{2}].$$

б) тепловий баланс для акумулюючої ємності суміші в череневій та стельовій частинах радіаційної зони 2-ї камери:

$$F_{sm} C_{sm} \Theta_{21} - (F_{sm} + F_{r1} + F_{r2}) C_{sm} \Theta_{22} + K_{r2} (S_{ch2} + S_{r2}) [\Theta_{d2}^4 - (\frac{\Theta_{21} + \Theta_{22}}{2})^4] = \\ = V_{sm2} C_{sm} \rho_{sm} \frac{d}{dt} [\frac{\Theta_{21} + \Theta_{22}}{2}]; \quad \text{де:} \quad (2.6)$$

- тепло, яке поступило з сумішшю в череневу та стельову частини радіаційної зони 2-ї камери  $F_{sm} C_{sm} \Theta_{21}$ ,

- тепло, яке вийшло зі сумішшю з череневої та стельової частин зони радіації 2-ї камери  $(F_{sm} + F_{r1} + F_{r2}) C_{sm} \Theta_{22}$ ,

- тепло, яке було передано до суміші в результаті радіації в 2-й камері

$$K_{r2} (S_{ch2} + S_{r2}) [\Theta_{d2}^4 - (\frac{\Theta_{21} + \Theta_{22}}{2})^4],$$

- тепло, яке було акумульоване в суміші в череневій та стельовій частинах радіаційної зони 2-ї камери  $V_{sm2} C_{sm} \rho_{sm} \frac{d}{dt} [\frac{\Theta_{21} + \Theta_{22}}{2}]$ .

7) Тепловий баланс для акумулюючої ємності димових газів 2-ї камери печі:

$$F_{d2} C_d (\Theta_{d0} - \Theta_{d2}) - K_{r2} (S_{ch2} + S_{r2}) [\Theta_{d2}^4 - (\frac{\Theta_{21} + \Theta_{22}}{2})^4] = V_{d2} C_d \rho_d \frac{d}{dt} [\frac{\Theta_{d2} + \Theta_{d0}}{2}]; \quad \text{де:} \\ (2.7)$$

- тепло, яке поступило з димовими газами в 2-гу камеру  $F_{d2} C_d \Theta_{d0}$ ,

- тепло, яке вийшло з димовими газами з 2-ї камери  $F_{d2} C_d \Theta_{d2}$ ,

- тепло, яке було передано від димових газів до суміші в результаті радіації в 2-й камері  $K_{r2} (S_{ch2} + S_{r2}) [\Theta_{d2}^4 - (\frac{\Theta_{21} + \Theta_{22}}{2})^4]$ ,

- тепло, яке було акумульоване в димових газах в 2-й камері  $V_{d2} C_d \rho_d \frac{d}{dt} [\frac{\Theta_{d2} + \Theta_{d0}}{2}]$ .

Система рівнянь (2.1) - (2.7) складає математичну модель ДКП при прийнятих допущеннях.

Для отримання передатних функцій слід попередньо лінеаризувати цю систему рівнянь і знайти її рішення відносно регульованих величин  $\Theta_{12}$  і  $\Theta_{22}$ , як функції керувань  $F_{p1}$  та  $F_{p2}$  та збурень  $F_c$  і  $F_{cm}$ .

Оскільки ДКП є об'єктом з перехресними зв'язками (вплив  $F_{p1}$  не тільки на  $\Theta_{12}$ , а і на  $\Theta_{22}$  за рахунок нагріву суміші в череневій частині 1-ї камери, а також вплив  $F_{p2}$  не тільки на  $\Theta_{22}$ , а і на  $\Theta_{12}$  в зв'язку з попереднім нагрівом сировини в конвективній частині ДКП), то при побудові системи керування ДКП необхідно передбачити динамічні компенсатори, які дадуть можливість автономного регулювання  $\Theta_{12}$  і  $\Theta_{22}$ . (применить в предлагаемую схему)

При синтезі системи регулювання параметрів ДКП слід врахувати і вплив  $F_{r1}$  та  $F_{r2}$  на температури  $\Theta_{12}$  і  $\Theta_{22}$  [1], бо цими витратами підтримується задані значення часу перебування суміші в череневій та стельовій частинах 2-ї камери.

Використання таких багатоконтурних систем регулювання можливе лише при їх реалізації в програмному забезпеченні відповідної АСКТП.

## 2.2 Статичні характеристики процесу уповільненого коксування залишків нафти

Оскільки в подальшому будемо розглядати процес регулювання температури суміші на виході з ДКП  $\Theta_{22}$  за допомогою керувального впливу  $F_{p2}$  при збуренні по температурі суміші на вході в другу камеру  $\Theta_{21}$ , то в наступному розглядатимемо систему рівнянь (2.6) і (2.7)

Статичні характеристики ДКП отримаємо з рівнянь (2.6) і (2.7) прирівнявши похідні за часом до 0.

$$F_{sm}C_{sm}\Theta_{21} - (F_{sm} + F_{r1} + F_{r2})C_{sm}\Theta_{22} + K_{r2}(S_{ch2} + S_{r2})\left[\Theta_{d2}^4 - \left(\frac{\Theta_{21} + \Theta_{22}}{2}\right)^4\right] = 0 \quad (2.8)$$

$$F_{d2}C_d(\Theta_{d0} - \Theta_{d2}) - K_{r2}(S_{ch2} + S_{r2})\left[\Theta_{d2}^4 - \left(\frac{\Theta_{21} + \Theta_{22}}{2}\right)^4\right] = 0 \quad (2.9)$$

Система рівнянь (2.8) і (2.9) відображає статичні характеристики ДКП:

- залежність  $\Theta_{22}$  від  $F_{p2}$
- залежність  $\Theta_{22}$  від  $\Theta_{21}$

Прийнявши, що витрата димових газів  $F_{d2}$  складається з витрати палива  $F_{p2}$  і витрати повітря  $F_{v2}$  і якщо  $\alpha$ - коефіцієнт пропорційності, то

$$F_{d2} = F_{p2} + F_{v2} = F_{p2} + \alpha F_{p2} = (1 + \alpha) F_{p2} \quad (2.10)$$

Статичні характеристики ДКП: залежності температури суміші на виході з 2-ї камери ДКП  $\Theta_{22}$  від збурення – температури суміші на вході в 2-гу камеру ДКП  $\Theta_{21}$  і керуючої дії – витрати палива  $F_{p2}$  одержуємо рішенням системи рівнянь (2.8) (2.9) з врахуванням кількості отриманих димових газів  $F_{d2}$ , як функції витрати палива  $F_{p2}$  згідно формули (2.10).

Статична характеристика представлена рівнянням (2.11)

$$\Theta_{22} = \frac{F_{sm} C_{sm} \Theta_{21} + (1+a) F_{p2} C_d (\Theta_{d0} - \Theta_{d2})}{(F_{sm} + F_{r1} + F_{r2}) C_{sm}} \quad (2.11)$$

Для визначення числових значень статичних характеристик сформуємо таблицю параметрів основного статичного режиму (таблиця 2.1), для якої обчислимо значення деяких коефіцієнтів:

Обчислення ведемо наступним чином:

1. Тепло, що перейшло до суміші

$$F_{cm} C_{cm} (\Theta_{22} - \Theta_{21}) = 30 \text{ кг/с} \cdot 2 \text{ кДж/(кг*град)} \cdot (360 - 210) = 9000 \text{ кДж/с}$$

2. Тепло, що віддало палива:

$$F_{p2} \cdot Q^H = \frac{9000 \text{ кДж/с}}{0.85 \text{ КПД}} = 10600 \text{ кДж/с}$$

3. Витрата палива

$$F_{p2} = \frac{10600 \text{ кДж/с}}{30000 \text{ кДж/кг}} = 0,35 \text{ кг/с}$$

4. Витрата димових газів

$$F_{p2} \cdot Q^H = 10600 \text{ кДж/с} = F_{d2} \cdot C_d \cdot \Theta_{d20} = F_{d2} \cdot 1.007 \text{ кДж/(кг*К)} \cdot 1200 \text{ град}$$

$$F_{d2} = \frac{10700 \text{ кДж/с}}{1200 \text{ кДж/кг}} = 9.6 \text{ кг/с}$$

$$5. \text{ Коефіцієнт } K_{r2} (S_{ch2} + S_{r2}) \square D = \frac{F_{d2} C_d \Theta_{d0}}{[\Theta_{d2}^4 - (\frac{\Theta_{21} + \Theta_{22}}{2})^4]} = \frac{10.6}{57.19 \cdot 10^3} =$$

$$= 0.186 \cdot 10^{-3} \left[ \frac{\text{кДж}}{\text{с} \cdot \text{град}} \right]$$

$$6. \text{ Коефіцієнт } \alpha = \frac{F_{d2}}{F_{p2}} = \frac{9.6 \text{ кг/с}}{0,35 \text{ кг/с}} = 27,4$$

Отримані коефіцієнти і параметри основного статичного режиму ДКП наведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1

Параметри основного статичного режиму ДКП

Назва параметру	Умовне позначення	Числове значення	Одиниці вимірювання
Температура суміші на вході в камеру	$\Theta_{21}$	210	°C
Температура суміші на виході з 2-ї камери	$\Theta_{22}$	360	°C

Питома теплоємність димових газів	$C_d$	1.007	кДж/(кг*К)
Температура димових газів в зоні спалювання	$\theta_{d20}$	1200	°С
Температура димових газів на виході з 2-ї камери ДКП	$\theta_{d2}$	400	°С
Питома теплоємність суміші	$C_{sm}$	2	кДж/(кг*К)
Витрата палива на форсунці 2-ї камери ДКП	$F_{p2}$	0.35	м <sup>3</sup> /с
Витрата суміші на вході в 2-гу камеру ДКП	$F_{sm}$	30	кг/с
Газовий об'єм 2-ї камери ДКП	$V_{d2}$	40	м <sup>3</sup>
Густина димових газів	$\rho_d$	0,08	кг/ м <sup>3</sup>
Об'єм суміші в 2-ї камери ДКП	$V_{sm2}$	30	м <sup>3</sup>
Коефіцієнт пропорційності	$\alpha$	27,4	б/р
Коефіцієнт пропорційності	$D=K_{r2}(S_{ch2}+S_{r2})$	$0.186 \cdot 10^{-3}$	кДж/(с*град)
Витрата димових газів	$F_{d2}$	9.6	кг/с
Тепло, що виділилось внаслідок згорання палива	$F_{p2} \cdot Q^H$	10700	кДж/с
Тепло нагрівання суміші	$F_{cm}C_{cm}(\theta_{22}-\theta_{21})$	9000	кДж/с

Статичні характеристики ДКП наведені на рисунках 2.2 і 2.3



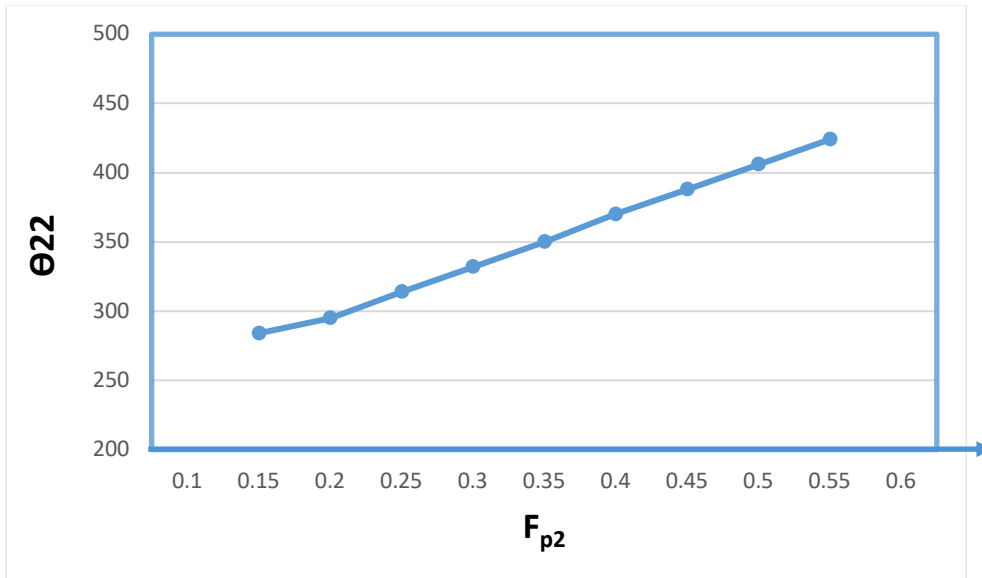


Рисунок 2.2 – Статична характеристика ДКП за каналом  $F_{p2} \rightarrow \Theta_{22}$

Таблиця 2.2

Залежність  $\Theta_{22}$  від збурення – витрати палива  $F_{p2}$

Витрата палива, $F_{p2}$ , м <sup>3</sup> /с	Температура суміші на виході з 2-ї камери, $\Theta_{22}$ , °C
0.15	284
0.2	295
0.25	314
0.3	332
0.35	350
0.4	370
0.45	388
0.5	406
0.55	424



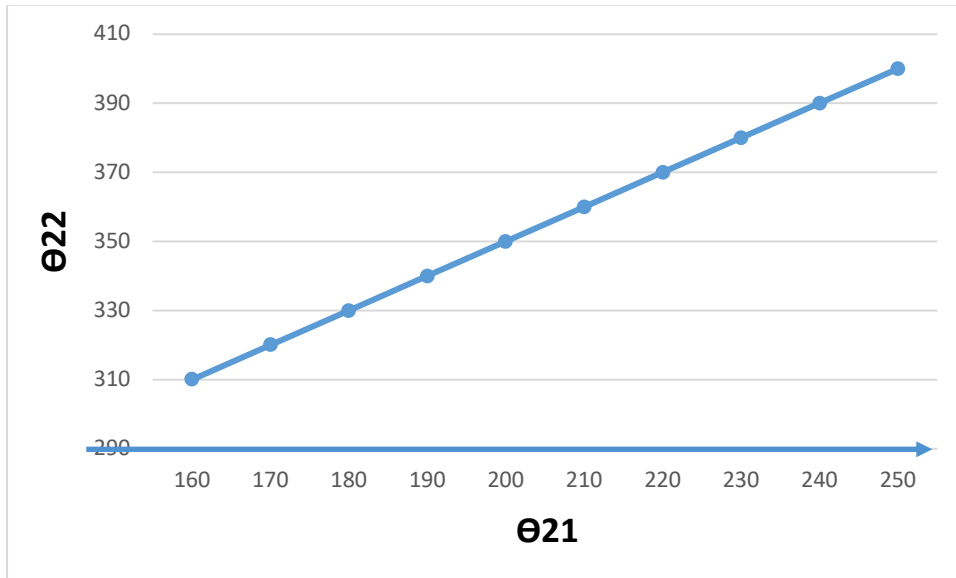


Рисунок 2.3 – Статична характеристика каналу  $\theta_{21} \rightarrow \theta_{22}$

Таблиця 2.3

Залежність  $\theta_{22}$  від збурення – температури  $\theta_{21}$

Температура суміші на вході, $\theta_{21}$ , °C	Температура суміші на виході з 2-ї камери, $\theta_{22}$ , °C
160	307
170	319
180	329
190	340
200	350
210	361
220	373
230	384
240	396
250	407

## 2.4 Лінеаризація і перетворення за Лапласом змінних в рівняннях динаміки

### 2.4.1 Лінеаризація рівнянь динаміки

Лінеаризація рівнянь динаміки (2.6) і (2.7) відбувається в точці основного статичного режиму.

При цьому вважаємо, що:

$$\theta_{21}(t) = \theta_{210} + \Delta\theta_{21}(t)$$

$$\theta_{22}(t) = \theta_{220} + \Delta\theta_{22}(t)$$

$$\theta_{d2}(t) = \theta_{d20} + \Delta\theta_{d2}(t)$$

$$F_{p2}(t) = F_{p2} + \Delta F_{p2}(t) \quad (2.12)$$

Індекс “0” відноситься до основного статичного режиму. Параметри основного статичного режиму наведені в табл. 2.1

Лінеаризацію рівнянь (2.6) і (2.7) проведемо згідно з формулами:

$$\Delta f(\theta_{21}, \theta_{21}, \theta_{d2}, F_{p2}) = f(\theta_{21}, \theta_{21}, \theta_{d2}, F_{p2}) - f(\theta_{210}, \theta_{210}, \theta_{d20}, F_{p20}) = \frac{\partial f}{\partial \theta_{210}} \Delta \theta_{210} + \frac{\partial f}{\partial \theta_{220}} \Delta \theta_{220} + \frac{\partial f}{\partial \theta_{d20}} \Delta \theta_{d20} + \frac{\partial f}{\partial F_{p20}} \Delta F_{p20} \quad (2.13)$$

Лінеаризуємо рівняння (2.6) згідно (2.13)

$$\Delta \theta_{21}(t) [(F_{sm} C_{sm}) - K_{r2}(S_{ch2} + S_{r2}) [4(\frac{\theta_{21} + \theta_{22}}{2})^3 \frac{1}{2}]] - \Delta \theta_{22}(t) (F_{sm} + F_{r1} + F_{r2}) C_{sm} - K_{r2}(S_{ch2} + S_{r2}) [4(\frac{\theta_{21} + \theta_{22}}{2})^3 \frac{1}{2}] + \Delta \theta_{d2}(t) K_{r2}(S_{ch2} + S_{r2}) 4\theta_{d2}^3 = \frac{V_{sm2} C_{sm} \rho_{sm}}{2} [\frac{\delta \Delta \theta_{21}(t)}{\delta t} + \frac{\delta \Delta \theta_{22}(t)}{\delta t}] \quad (2.14)$$

Позначемо коефіцієнти при  $\Delta \theta_{22}(t)$

$$A = (F_{sm} + F_{r1} + F_{r2}) C_{sm} - K_{r2}(S_{ch2} + S_{r2}) [4(\frac{\theta_{21} + \theta_{22}}{2})^3 \frac{1}{2}] \quad (2.15)$$

Приведемо рівняння (2.12) до канонічного виду відносно  $\Delta \theta_{22}(t)$ . Для цього поділемо обидві частини рівняння (2.12) на коефіцієнт при  $\Delta \theta_{22}(t)$ , тобто А. А також в ліву частину рівняння зведемо параметри стану  $\Delta \theta_{22}$  і  $\Delta \theta_{d2}$ , а в праву збурення  $\Delta \theta_{21}$ .

Отримаємо:

$$\frac{V_{sm2} C_{sm} \rho_{sm}}{2A} \frac{\delta \Delta \theta_{22}(t)}{\delta t} + \Delta \theta_{22}(t) + \frac{1}{4A} K_{r2}(S_{ch2} + S_{r2}) (\theta_{21} + \theta_{22})^3 \Big|_0 + \Delta \theta_{d2}(t) = \frac{V_{sm2} C_{sm} \rho_{sm}}{2A} \frac{\delta \Delta \theta_{21}(t)}{\delta t} - \frac{1}{4A} [(F_{sm} C_{sm}) - K_{r2}(S_{ch2} + S_{r2}) (\theta_{21} + \theta_{22})^3] \Big|_0 + \Delta \theta_{21}(t) \quad (2.16)$$

Аналогічним чином лінеаризуємо рівняння (2.7) прийнявши, що витрата димових газів  $F_{d2}$  складається з витрати палива  $F_{p2}$  і витрати повітря  $F_{v2}$ . Якщо  $\alpha$ - коефіцієнт надлишку повітря, то

$$F_{d2} = F_{p2} + F_{v2} = F_{p2} + \alpha F_{p2} = (1 + \alpha) F_{p2} \quad (2.17)$$

Будемо лінеаризувати (2.7) враховуючи (2.8), (2.9) і (2.17)

$$(1 + \alpha) F_{p2} C_d (\theta_{d0} - \theta_{d2}) \Big|_0 \Delta F_{p2}(t) - \Delta \theta_{d2} [(1 + \alpha) F_{p2} C_d + K_{r2}(S_{ch2} + S_{r2}) 4\theta_{d2}^3] \Big|_0 + \Delta \theta_{21}(t) [K_{r2}(S_{ch2} + S_{r2}) 4(\frac{\theta_{21} + \theta_{22}}{2})^3 \frac{1}{2}] + \Delta \theta_{22}(t) [K_{r2}(S_{ch2} + S_{r2}) 4(\frac{\theta_{21} + \theta_{22}}{2})^3 \frac{1}{2}] = \frac{V_{d2} C_d \rho_d}{2} \Big|_0 \frac{\delta \Delta \theta_{d2}(t)}{\delta t} \quad (2.18)$$

$$\text{Позначемо } B = [(1 + \alpha) F_{p2} C_d + K_{r2}(S_{ch2} + S_{r2}) 4\theta_{d2}^3] \Big|_0 \quad (2.19)$$

Приведемо рівняння (2.16) до канонічного виду відносно  $\Delta \theta_{d2}(t)$ . Для цього поділемо обидві частини рівняння (2.16) на коефіцієнт при  $\Delta \theta_{d2}(t)$ , тобто В. А також в ліву частину рівняння зведемо параметри стану  $\Delta \theta_{22}$  і  $\Delta \theta_{d2}$ , а в праву збурення  $\Delta \theta_{21}$  і керуючу дію  $+\Delta F_{p2}(t)$ .

Отримаємо:

$$\frac{V_{d2} C_d \rho_d}{2B} \Big|_0 \frac{\delta \Delta \theta_{d2}(t)}{\delta t} + \Delta \theta_{d2} - \Delta \theta_{22} [\frac{K_{r2}(S_{ch2} + S_{r2})}{4B} (\theta_{21} + \theta_{22})^3] \Big|_0 = \Delta \theta_{21} [\frac{K_{r2}(S_{ch2} + S_{r2})}{4B} (\theta_{21} + \theta_{22})^3] \Big|_0 + \frac{(1 + \alpha) F_{p2} C_d (\theta_{d0} - \theta_{d2})}{B} \Big|_0 \Delta F_{p2}(t) \quad (2.20)$$

Введемо наступні позначення

$$\begin{aligned}
 T_{sm} &= \frac{V_{sm2} C_{sm}}{2A} \Big|_0 \\
 K_{\theta_{d2}\theta_{22}} &= \frac{1}{4A} K_{r2} (S_{ch2} + S_{r2}) (\theta_{21} + \theta_{22})^3 \Big|_0 \\
 K_{\theta_{12}\theta_{22}} &= \frac{1}{4A} [(F_{sm} C_{sm}) - K_{r2} (S_{ch2} + S_{r2}) (\theta_{21} + \theta_{22})^3] \Big|_0 \\
 T_d &= \frac{V_{d2} C_d \rho_d}{2B} \Big|_0 \\
 K_{\theta_{22}\theta_{d2}} &= \frac{K_{r2} (S_{ch2} + S_{r2})}{4B} (\theta_{21} + \theta_{22})^3 \Big|_0 \\
 K_{\theta_{21}\theta_{d2}} &= K_{\theta_{22}\theta_{d2}} \\
 K_{\theta_{p2}\theta_{d2}} &= \frac{(1+\alpha) F_{p2} C_d (\theta_{d0} - \theta_{d2})}{B} \Big|_0
 \end{aligned} \tag{2.21}$$

Рівняння (2.14) і (2.18) з врахуванням (2.21) будуть мати вигляд:

$$T_{sm} \frac{d\Delta\theta_{22}(t)}{dt} + \Delta\theta_{22}(t) + K_{\theta_{d2}\theta_{22}} \Delta\theta_{d2} = T_{sm} \frac{d\Delta\theta_{21}(t)}{dt} - K_{\theta_{21}\theta_{d2}} \Delta\theta_{21}(t) \tag{2.22}$$

$$T_d \frac{d\Delta\theta_{d2}(t)}{dt} + \Delta\theta_{d2}(t) - K_{\theta_{22}\theta_{d2}} \Delta\theta_{22}(t) = K_{\theta_{21}\theta_{d2}} \Delta\theta_{21}(t) + K_{F_{p2}\theta_{d2}} \Delta F_{p2}(t) \tag{2.23}$$

Система рівнянь (2.22) і (2.23) є лінеаризованою моделлю температури суміші на виході з 2-ї камери ДКП у відхиленнях.

#### 2.4.2 Перетворення за Лапласом змінної часу

Перетворення за Лапласом змінної часу  $t \rightarrow p$  в рівняннях (2.22) і (2.23) відбуваються при нульових початкових умовах ( відхилення від основного статичного режиму) згідно наступному

$$\begin{aligned}
 \Delta\theta_{21}(t) &\square \Delta\theta_{21}(p) \\
 \Delta\theta_{22}(t) &\square \Delta\theta_{22}(p) \\
 \Delta\theta_{d2}(t) &\square \Delta\theta_{d2}(p) \\
 \Delta F_{p2}(t) &\square \Delta F_{p2}(p)
 \end{aligned} \tag{2.24}$$

$$\frac{d\Delta\theta_{21}(t)}{dt} \rightarrow p\theta_{21}(p)$$

$$\frac{d\Delta\theta_{22}(t)}{dt} \rightarrow p\theta_{22}(p)$$

$$\frac{d\Delta\theta_{d2}(t)}{dt} \rightarrow p\theta_{d2}(p)$$

Після перетворення за Лапласом змінних часу рівняння (2.22) і (2.23) будуть мати наступний вигляд:

$$(T_{sm} p + 1) \theta_{22}(p) + K_{\theta_{d2}\theta_{22}} \theta_{d2}(p) = (T_{sm} p - K_{\theta_{21}\theta_{d2}}) \theta_{21}(p) \tag{2.25}$$

$$(T_d p + 1) \theta_{d2}(p) - K_{\theta_{22}\theta_{d2}} \theta_{d2}(p) = K_{\theta_{21}\theta_{d2}} \theta_{21}(p) + K_{F_{p2}\theta_{d2}} F_{p2}(p) \tag{2.26}$$

Система рівнянь (2.25) і (2.26) є математичною моделлю ДКП в перетворених за Лапласом змінних.

## 2.5 Передатні функції та перехідні характеристики ТОК за каналами керування та збурення

### 2.5.1 Передатні функції ДКП

Передатна функція за каналом керування

$$\begin{aligned} F_{p2}(p) &\rightarrow \Theta_{22}(p) \\ W_{F(p)} &= \frac{\Theta_{22}(p)}{F_{p2}(p)} \end{aligned} \quad (2.27)$$

I передатна функція за каналом збурення

$$\begin{aligned} \Theta_{21}(p) &\rightarrow \Theta_{22}(p) \\ W_{\Theta(p)} &= \frac{\Theta_{22}(p)}{\Theta_{21}(p)} \end{aligned} \quad (2.28)$$

Отримаємо рішення системи лінійних рівнянь (2.25) і (2.26) відносно змінної  $\Theta_{22}(p)$  в залежності від збурення  $\Theta_{21}(p)$  і керування  $F_{p2}(p)$ .

$$\Theta_{22}(p) = W_k(p) F_{p2}(p) + W_z(p) \Theta_{21}(p) \quad (2.29)$$

Рішення системи (2.29) отримаємо методом Крамера. Визначник системи

$$\Delta = \begin{vmatrix} Tsm p + 1 & K_{\Theta_{d2}\Theta_{22}} \\ -K_{\Theta_{22}\Theta_{d2}} & Td p + 1 \end{vmatrix} = (Tsm p + 1)(Td p + 1) + (K_{\Theta_{d2}\Theta_{22}})(K_{\Theta_{22}\Theta_{d2}}) \quad (2.30)$$

Вектор-стовпець коефіцієнтів керування

$$F_{p2}(p) = \begin{vmatrix} 0 \\ K_{F_{21}\Theta_{d2}} \end{vmatrix} F_{p2}(p) \quad (2.31)$$

Вектор-стовпець коефіцієнтів збурення

$$\Theta_{21}(p) = \begin{vmatrix} (Tsm p - K_{\Theta_{21}\Theta_{22}}) \\ K_{\Theta_{21}\Theta_{d2}} \end{vmatrix} \Theta_{21}(p) \quad (2.32)$$

Визначник-доповнення по керуванню  $\Delta_F$

$$\Delta_F = \begin{vmatrix} 0 & K_{\Theta_{d2}\Theta_{22}} \\ K_{\Theta_{p2}\Theta_{d2}} & Td p + 1 \end{vmatrix} = -K_{\Theta_{d2}\Theta_{22}} K_{\Theta_{p2}\Theta_{d2}} \quad (2.33)$$

Визначник-доповнення по збуренню

$$\Delta_{\Theta} = \begin{vmatrix} Tsm p - K_{\Theta_{21}\Theta_{22}} & K_{\Theta_{d2}\Theta_{22}} \\ K_{\Theta_{21}\Theta_{d2}} & Td p + 1 \end{vmatrix} = (Tsm p - K_{\Theta_{21}\Theta_{d2}})(Td p + 1) - (K_{\Theta_{d2}\Theta_{22}})(K_{\Theta_{21}\Theta_{d2}}) \quad (2.34)$$

За методом Крамера

$$W_z(p) = \frac{\Delta_{\Theta}}{\Delta} = \frac{(Tsm p - K_{\Theta_{21}\Theta_{d2}})(Td p + 1) - (K_{\Theta_{d2}\Theta_{22}})(K_{\Theta_{21}\Theta_{d2}})}{(Tsm p + 1)(Td p + 1) + (K_{\Theta_{d2}\Theta_{22}})(K_{\Theta_{22}\Theta_{d2}})} \quad (2.35)$$

$$W_k(p) = \frac{\Delta F}{\Delta} = \frac{-K\theta_{d2}\theta_{22} \quad KF_{p2}\theta_{d2}}{(Tsm p + 1) (Td p + 1) + (K\theta_{d2}\theta_{22}) (K\theta_{22}\theta_{d2})} \quad (2.36)$$

### 2.5.2 Перехідні характеристики ДКП

Перехідні характеристики ДКП за каналом керування  $h_k(t)$  отримаємо шляхом зворотнього перетворення за Лапласом виразу:

$$h_k(t) = L^{-1}\left[\frac{1}{p} W_k(p)\right] = 7200 \quad (2.37)$$

Перехідну характеристику ДКП за каналом збурення  $h_z(t)$  отримаємо шляхом зворотнього перетворення за Лапласом виразу:

$$h_z(t) = L^{-1}\left[\frac{1}{p} W_z(p)\right] = 6100 \quad (2.38)$$

Графіки перехідних характеристик  $h_k(t)$  і  $h_z(t)$  наведені на рис. 2.4 і 2.5

Перехідна характеристика ДКП за каналом збурення  $h_z(t)$  зображена на рисунку 2.4.

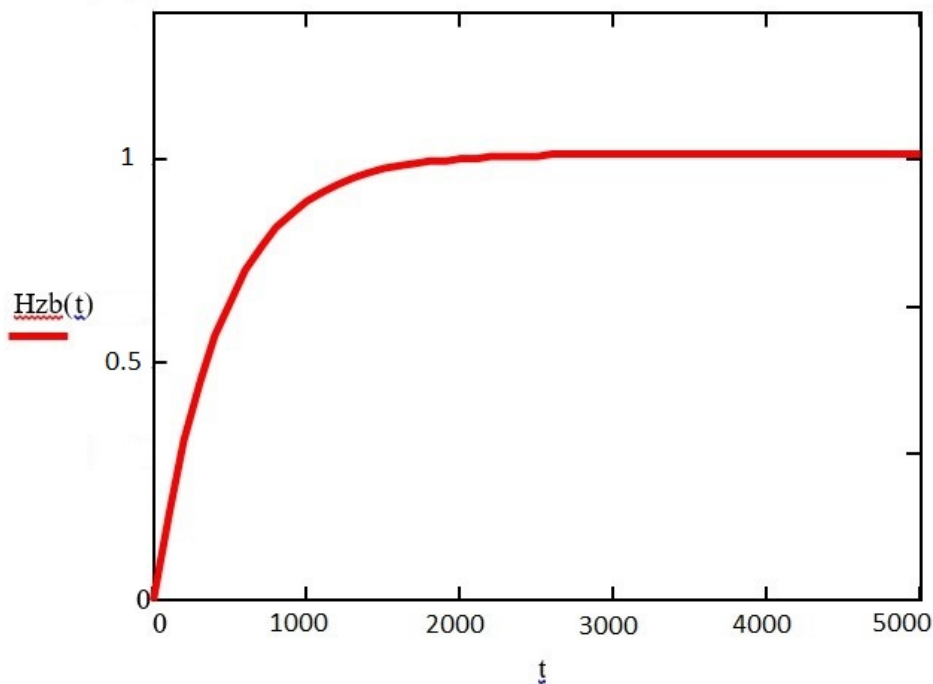


Рис. 2.4 – Перехідна характеристика ДКП за каналом збурення  
Перехідна характеристика ДКП за каналом керування  $h_k(t)$  зображена на рисунку 2.5.

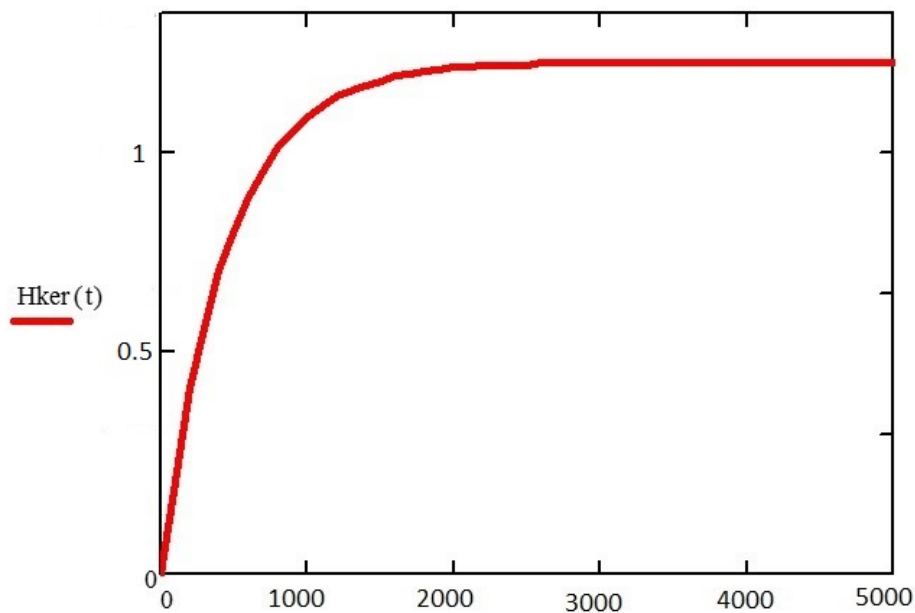


Рис. 2.5 – Перехідна характеристика ДКП за каналом керування

### 3. СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ КОКСУВАННЯ ЗАЛИШКІВ З НАФТИ

Математична модель об'єкту представлена у вигляді передатної функції каналу керування:

$$W_{\text{обп}}(s) = \frac{4,036 \cdot e^{-s \cdot 0,05}}{1,307 \cdot s + 1} \quad (3.1)$$

На основі цієї моделі можна підібрати параметри регулятора, щоб забезпечити задані показники якості системи керування. Розглянемо показники, за якими можна настроїти якість системи.

#### 3.1 Дослідження показників якості управління в системі

Показники якості управління повинні відповідати стандартним нормам. Якість управління визначається з використанням перехідних характеристик об'єкта

керування. Оцінювати якість керування можна за прямими та частотними показниками.

Є такі прямі показники:

- 1) Час регулювання  $t_p$ ;
- 2) Середньоквадратична або статистична похибка регулювання  $E_{ст}$ ;
- 3) Перерегулювання  $u$ ;

Якщо перехідна характеристика має вигляд:

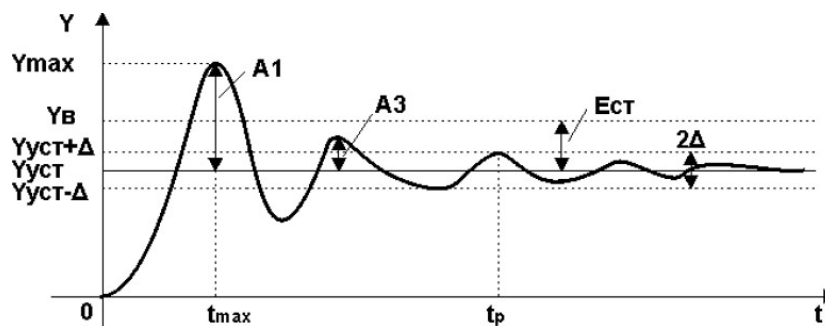


Рисунок 3.1.1 Показники якості управління на перехідній характеристиці процесу

то показники якості можна визначити таким чином:

1) Час регулювання  $t_p$ . Це час, коли коливання регульованої величини не перевищують 5% усталеного значення. Одним з критеріїв ефективного керування є максимальне зменшення загального часу регулювання, бо він прямо вказує швидкодію системи, що є важливим для протікання певних процесів.

2) Похибка регулювання  $E_{ст}$ ;

Статична похибка визначається відповідно формули:

$$E_{ст} = Y_B - Y_{уст},$$

де  $U_v$  - вхідна величина. У деяких системах керування вона не зникає протягом тривалого часу. Тому головне, щоб вона не перевищувала детермінованого значення.

3) Перерегулювання «у» характеризує запас стійкості системи, тобто її схильність до коливань. Величину перерегулювання, наприклад, у завданні в вигляді ступінчастого сигналу розраховують за наступною формулою:

$$y = \frac{Y_{max} - Y_{уст}}{Y_{уст}} 100\%$$

де величини  $Y_{max}$  і  $Y_{уст}$  визначені з рис. 3.1.1.

При відпрацюванні збурюючого сигналу, величина перерегулювання «у» визначається наступним співвідношенням:

$$y = \frac{X_l}{X_m} 100\%$$

де величини  $X_m$  і  $X_1$  визначені з рис. 3.1.2.

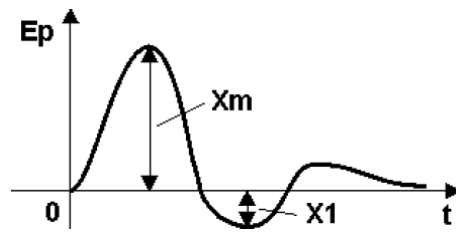


Рисунок 3.1.2 Графік перехідного процесу при відпрацьовуванні збурення

Допустиме значення перерегулювання становить з досвіду експлуатації зазвичай 15...30%, в окремих випадках до 65%, іноді зовсім не допускається.

Додамо, що система є доботною, коли при високій продуктивності підтримується висока точність регулювання.

Смоделюємо системи керування в Simulink ПІД-регулятора на рис. 3.1.3:

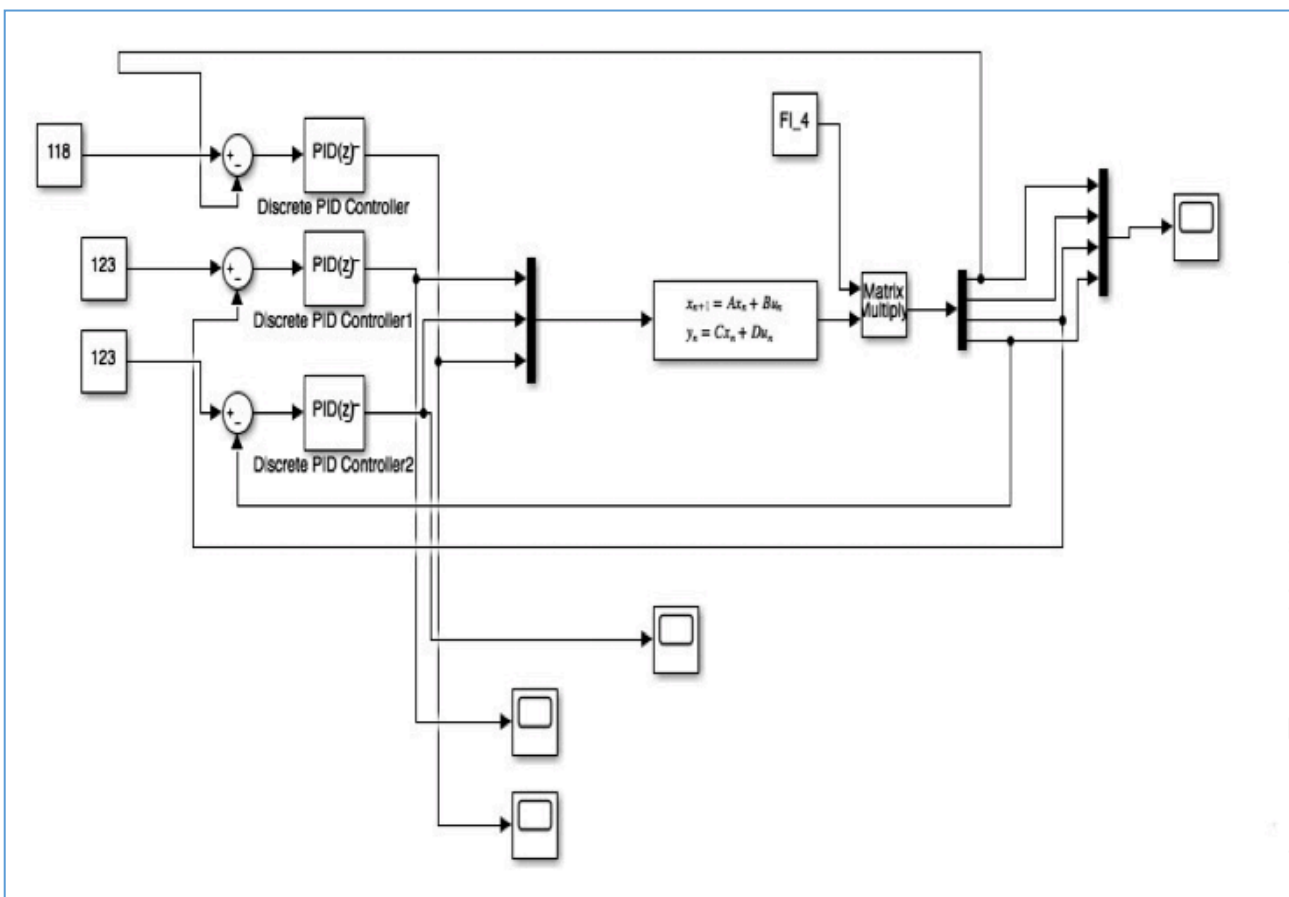


Рис. 3.1.3 Схема роботи системи керування з ПД- регулятором

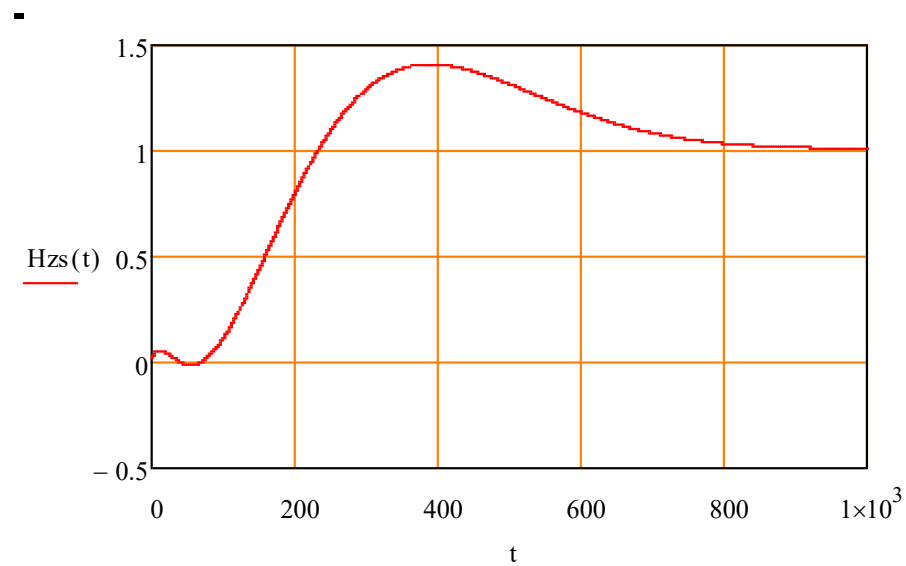


Рис. 3.1.4 – Перехідна характеристика замкненої системи з ПД-регулятором

### **3.2 Обґрунтування для створення нечіткої системи керування, визначення її структури**

З цією метою обрано керування температурою суміші при вході у коксову камеру. Головним впливом є витрата пару при вході у ДКП.

Фрагмент схеми автоматизації з указаним контуром керування наведений на рис.

3.2.1

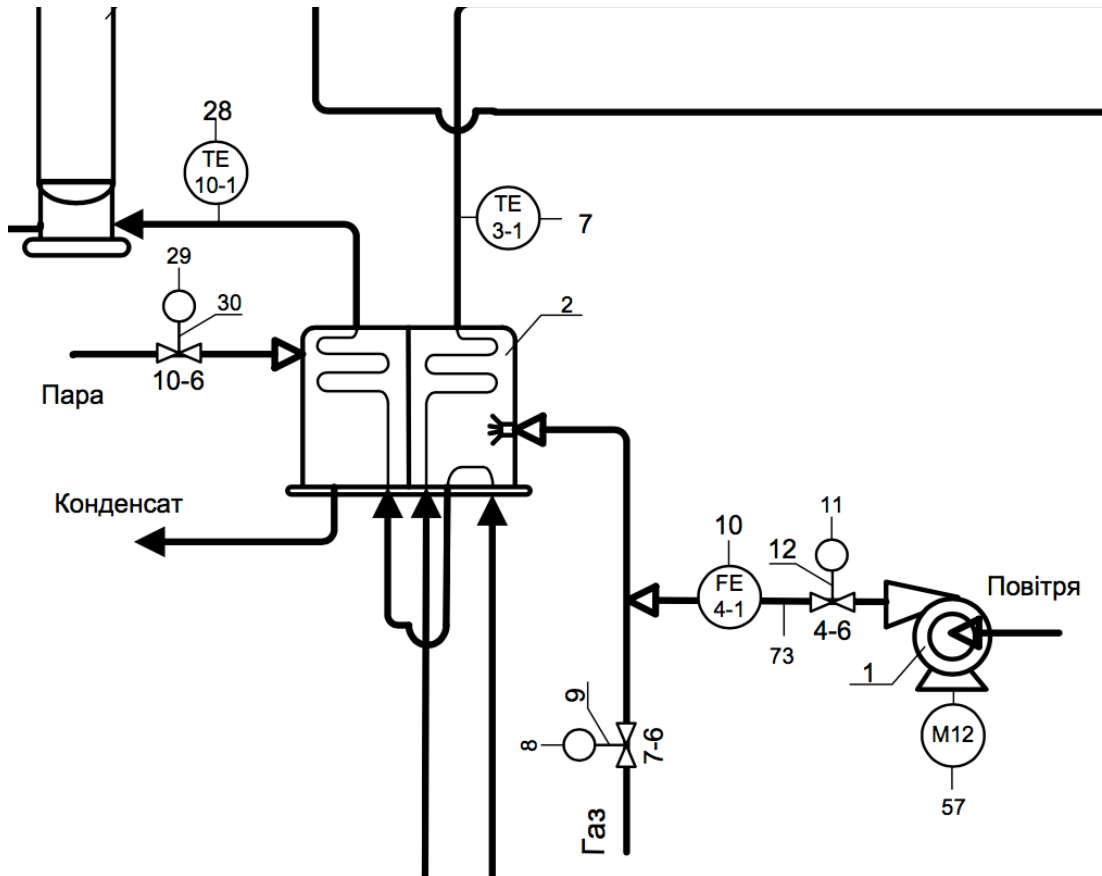


Рис. 3.2.1 Фрагмент схеми автоматизації з контуром керування температури суміші на виході.

### 3.3. Вибір та опис лінгвістичних змінних

Визначаємо дві змінні:  $T$  – температура суміші при вході в коксову камеру,  $F$  – витрата пару при вході у ДКП. Універсальна температура  $T=70\dots 80^{\circ}\text{C}$ , універсальна витрата агенту  $F=310\dots 360\text{м}^3/\text{год}$ . Термальна множина першої змінної «Температура на вході» візьмемо множину  $T1=\{\text{«Занадто мала»}, \text{«Мала»}, \text{«Нормальна»}, \text{«Висока»}, \text{«Занадто висока»}\}$ , а за терм-множину другої лінгвістичної змінної «Витрата нагрітої суміші » візьмемо множину  $T2=\{\text{«Дуже низька»}, \text{«Мала»}, \text{«Нормальна»}, \text{«Велика»}, \text{«Дуже велика»}\}$

Опишемо їх:

Дуже низька

Мала

Лінгвістична змінна: <Витрата теплового агенту; Нормальна;  $310 < F < 360$ >

Велика

Дуже велика

Занадто мала

Мала

Лінгвістична змінна: <Температура на вході; Нормальна;  $80 < T < 90$ >

Висока

Занадто Висока

Сформуємо функції належності для лінгвістичної змінної «Витрата». На рисунках 3.2.1. – 3.2.5. наведені функції належності для термів: «Дуже низька», «Мала», «Нормальна», «Велика», «Дуже велика».

$$F_{\text{very\_low}}(x) := \begin{cases} 1 & \text{if } x < 302 \\ \frac{314 - x}{314 - 302} & \text{if } 302 < x < 314 \\ 0 & \text{if } x > 314 \end{cases}$$

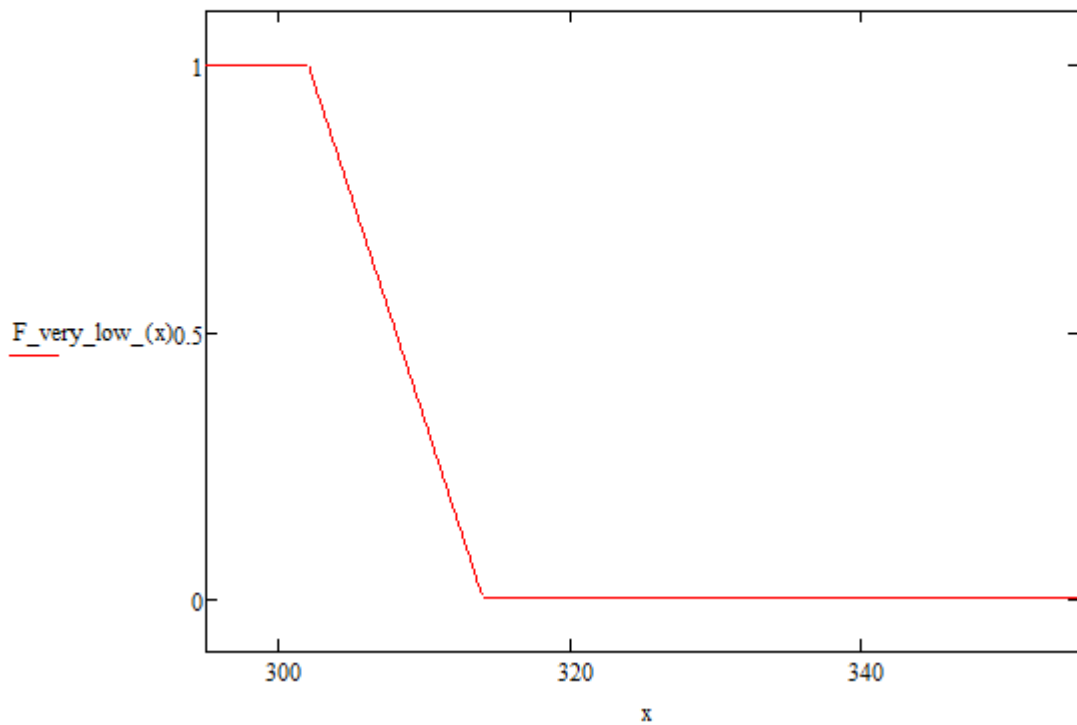


Рис. 3.3.1. Документ MathCAD із функцією належності для терма Витрата «Дуже низька»

$$F_{\text{low}}(x) := \begin{cases} 0 & \text{if } x < 302 \\ \frac{x - 302}{314 - 302} & \text{if } 302 \leq x \leq 315 \\ \frac{328 - x}{328 - 314} & \text{if } 314 \leq x \leq 328 \\ 0 & \text{if } x > 328 \end{cases} +$$

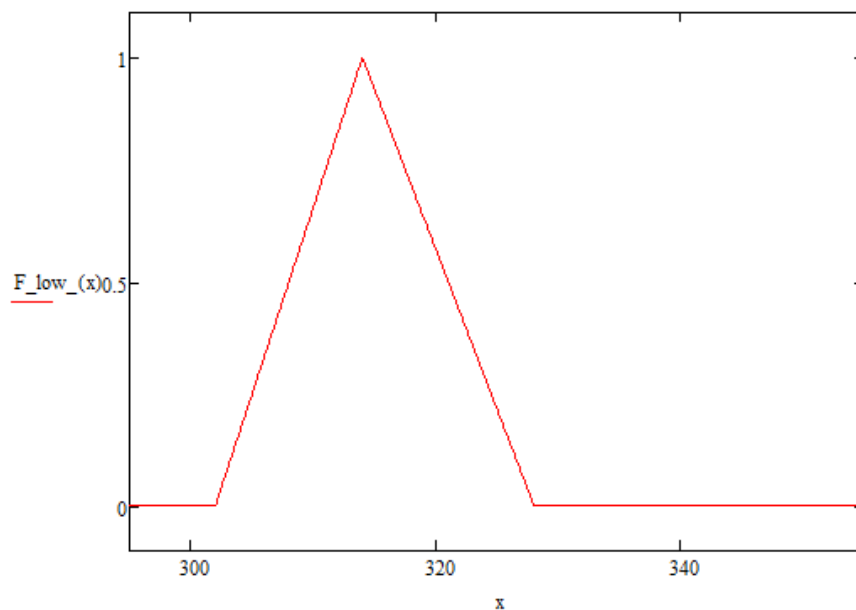


Рис. 3.3.2. Документ MathCAD із функцією належності для терма Витрата «Мала»

$$F_{\text{norm}}(x) := \begin{cases} 0 & \text{if } x < 315 \\ \frac{x - 315}{328 - 315} & \text{if } 315 \leq x \leq 328 \\ \frac{340 - x}{340 - 328} & \text{if } 328 \leq x \leq 340 \\ 0 & \text{if } x > 340 \end{cases}$$

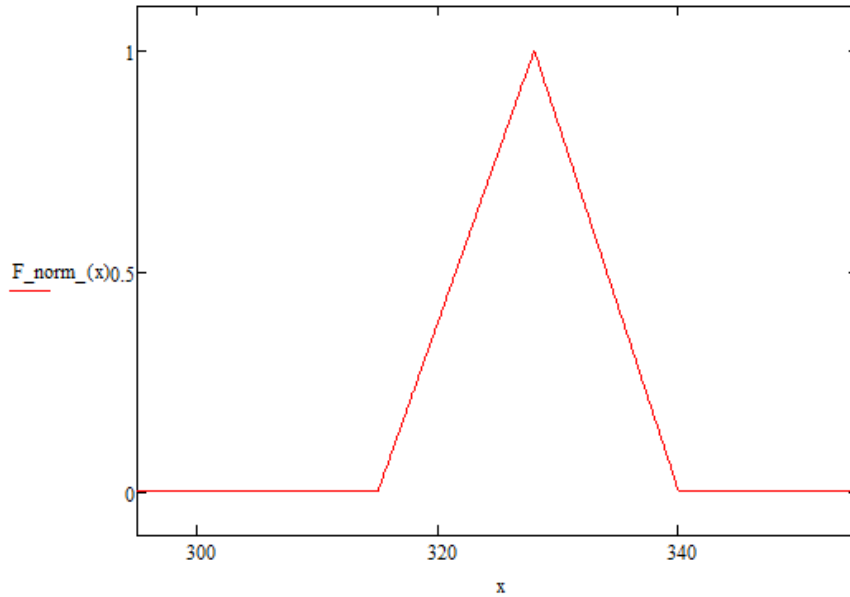


Рис. 3.3.3. Документ MathCAD із функцією належності для терма Витрата «Нормальна»

$$F_{\text{big}}(x) := \begin{cases} 0 & \text{if } x < 329 \\ \frac{x - 329}{341 - 329} & \text{if } 329 \leq x \leq 341 \\ \frac{349 - x}{349 - 341} & \text{if } 341 \leq x \leq 349 \\ 0 & \text{if } x > 349 \end{cases}$$

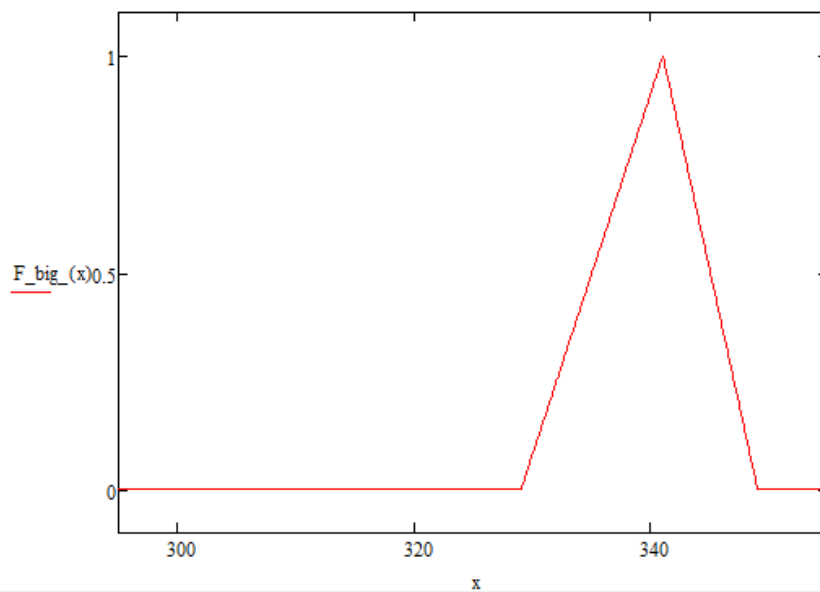


Рис. 3.3.4. Документ MathCAD із функцією належності для терма Витрата «Велика»

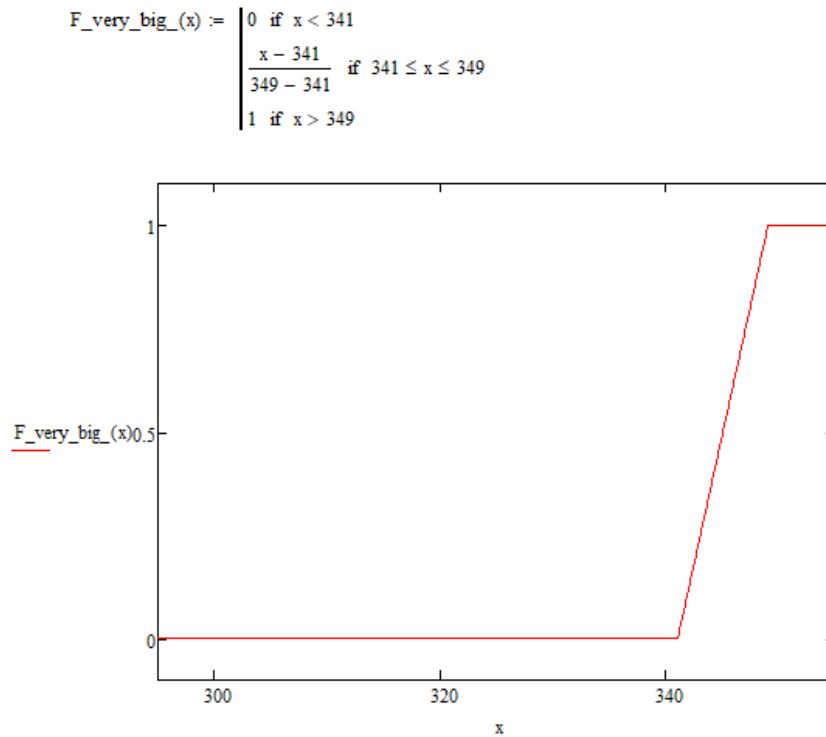


Рис. 3.3.5. Документ MathCAD із функцією належності для терма Витрата «Дуже велика»

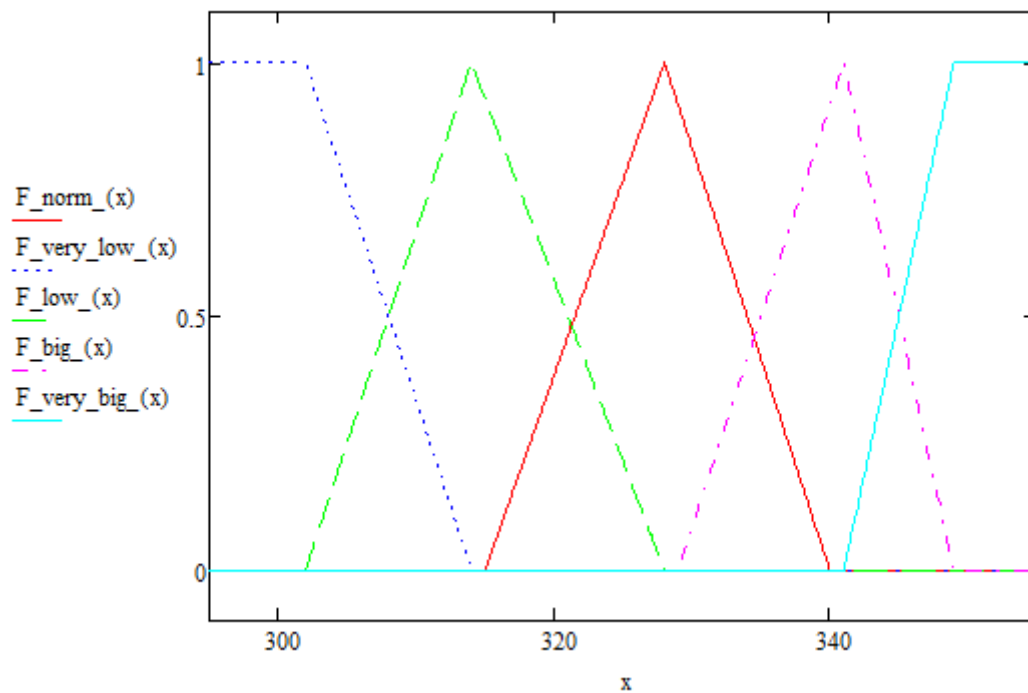


Рис. 3.3.6. Документ MathCAD із функцією належності для всіх термів Витрата

Сформуємо функції належності для лінгвістичної змінної «Температура». На рисунках 3.3.7. – 3.3.12. наведені функції належності для термів: «Занадто мала», «Мала», «Нормальна», «Висока», «Занадто Висока».

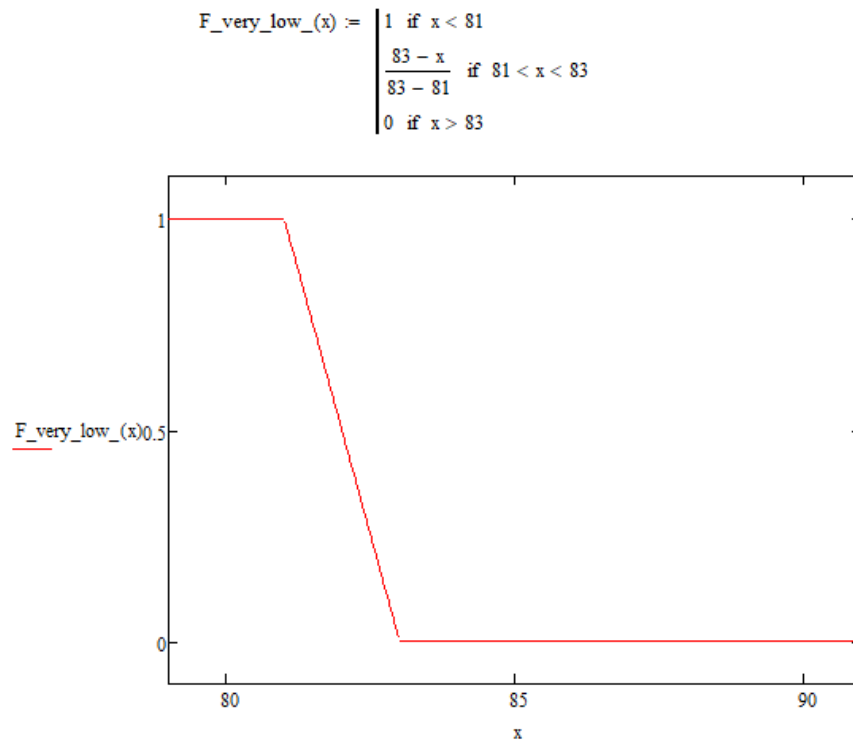


Рис. 3.3.7. Документ MathCAD із функцією належності для терма Температура«Занадто мала»

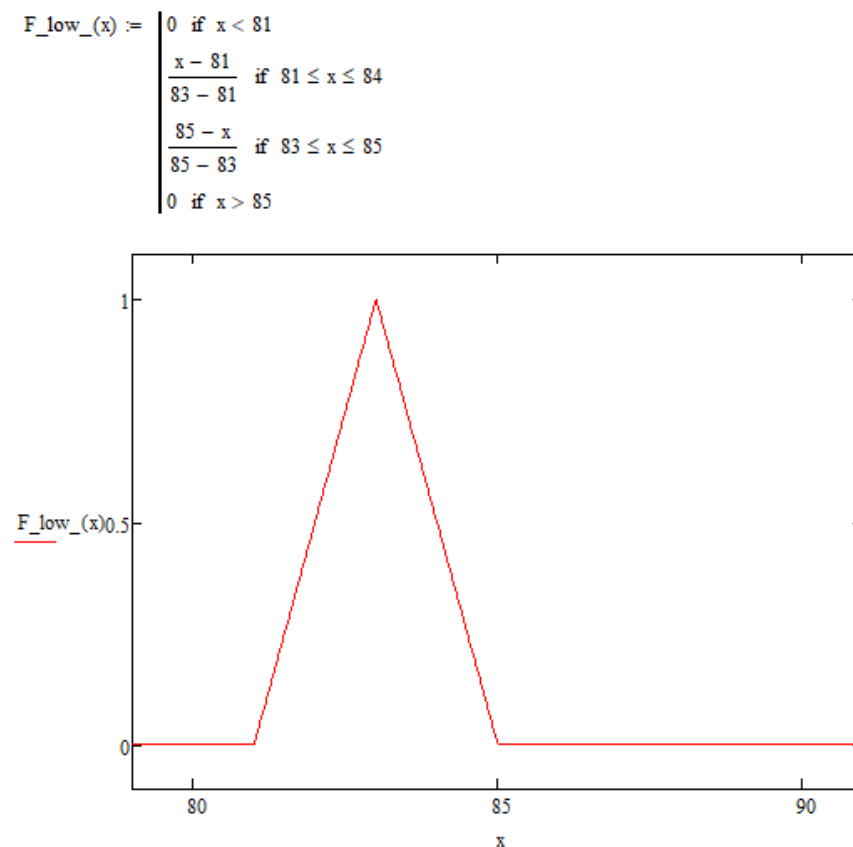


Рис. 3.3.8. Документ MathCAD із функцією належності для терма Температура«Мала»

$$F_{\text{norm}}(x) := \begin{cases} 0 & \text{if } x < 83 \\ \frac{x - 83}{85 - 83} & \text{if } 83 \leq x \leq 85 \\ \frac{87 - x}{87 - 85} & \text{if } 85 \leq x \leq 87 \\ 0 & \text{if } x > 87 \end{cases}$$

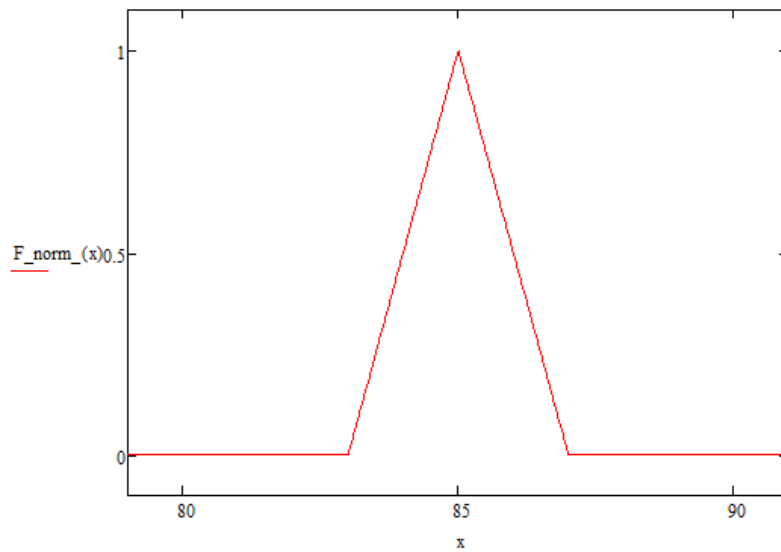


Рис. 3.3.9. Документ MathCAD із функцією належності для терма Температура «Нормальна»

$$F_{\text{big}}(x) := \begin{cases} 0 & \text{if } x < 85 \\ \frac{x - 85}{87 - 85} & \text{if } 85 \leq x \leq 87 \\ \frac{89 - x}{89 - 87} & \text{if } 87 \leq x \leq 89 \\ 0 & \text{if } x > 89 \end{cases}$$

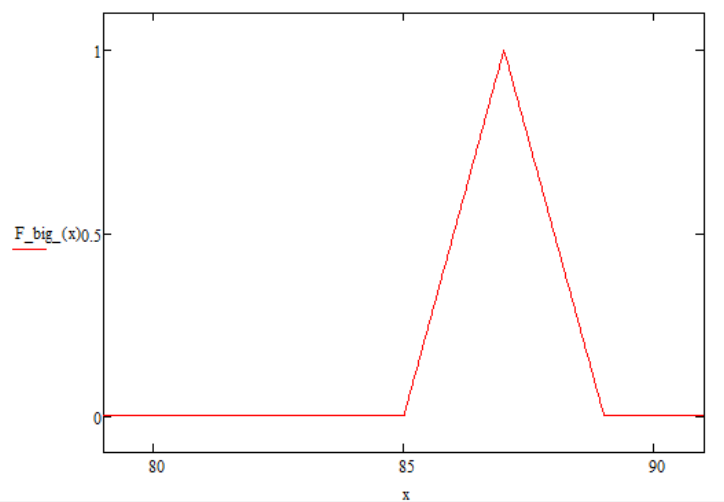


Рис. 3.3.10. Документ MathCAD із функцією належності для терма Температура «Висока»

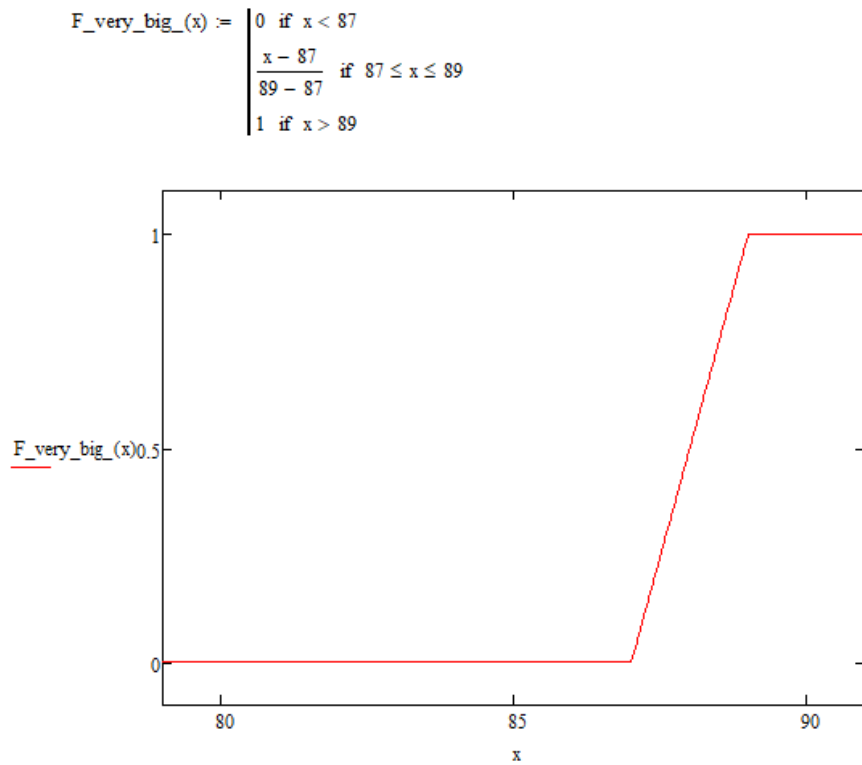


Рис. 3.3.11. Документ MathCAD із функцією належності для терма **Температура«Занадто висока»**

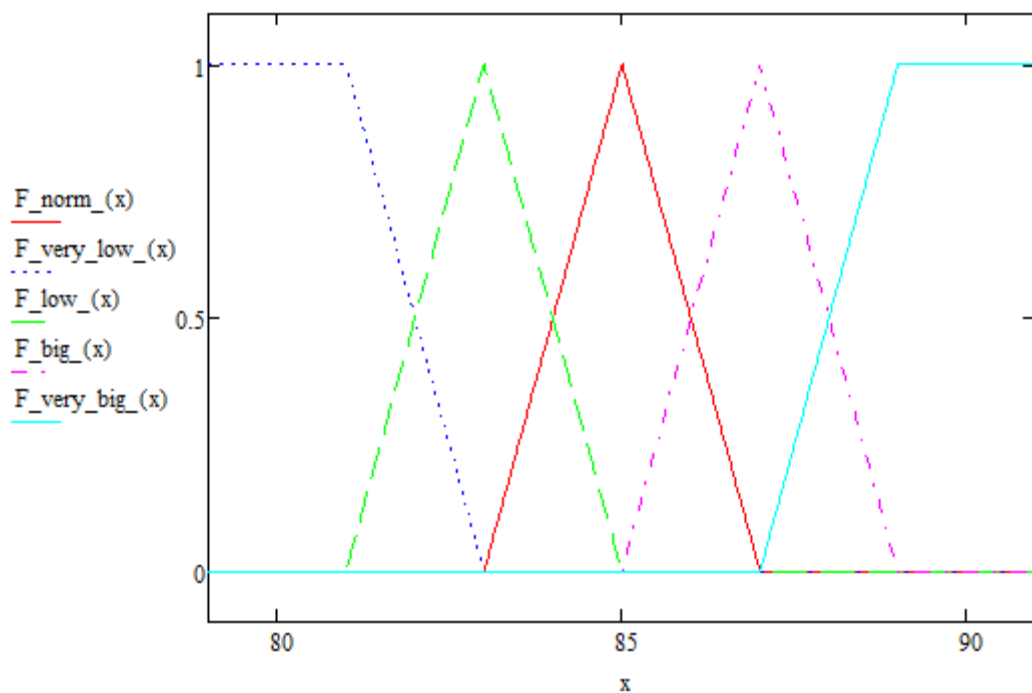


Рис. 3.3.12. Документ MathCAD із функцією належності для всіх термів **Температура**

### 3.4. Розробка продукційних правил нечіткої системи керування

Сформулюємо нечіткі правила керування:

- ЯКЩО [Температура «Занадто мала», ТО Витрата «Дуже велика»];
- ЯКЩО [Температура «Мала», ТО Витрата «Велика»];
- ЯКЩО [Температура «Нормальна», ТО Витрата «Нормальна»];
- ЯКЩО [Температура «Висока», ТО Витрата «Низька»];
- ЯКЩО [Температура «Занадто висока», ТО Витрата «Дуже низька»];

### 3.5. Створення нечіткої математичної моделі об'єкта керування

Припустимо, що температура  $T = 85 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Знаходимо ступінь входження значення  $F$  у кожен  $i$ -й терм,  $\mu(85)$ :

- для терму «дуже низька» ступінь входження  $\mu(85)=0$ ;
- для терму «мала» ступінь входження  $\mu(85)=0,25$ ;
- для терму «нормальна» ступінь входження  $\mu(85)=0,75$ ;
- для терму «велика» ступінь входження  $\mu(85)=0$ ;
- для терму «дуже велика» ступінь входження  $\mu(85)=0$ .

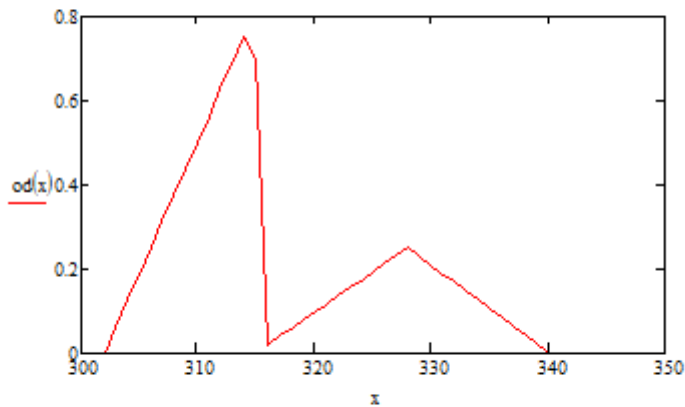
Враховуючи ступенів входження в лівих частинах правил потрібна модифікація правих частин правил. З цією метою використаємо метод об'єднання та метод підсумовування із модифікацією правила з методом добутку та мінімуму.

На рис. 3.5.1. наведений документ MatCAD із прикладом розрахунка керувального впливу для температури  $85 \text{ }^\circ\text{C}$ , та побудовано фігуру – результат застосування **методу об'єднання** для суперпозиції нечітких множин і методу добутку для модифікації правих частин цих правил. Також за допомогою розрахунка центру ваги фігури визначені витрати теплового агента, що відповідає температурі  $85 \text{ }^\circ\text{C}$ .

```

x := 300..350
very_low_md(x) := F_very_low(x)·very_big
low_md(x) := F_low(x)·big
norm_md(x) := F_norm(x)·norm
big_md(x) := F_high(x)·low
very_big_md(x) := F_very_high(x)·very_low
od(x) := max(very_low_md(x), low_md(x), norm_md(x), big_md(x), very_big_md(x))

```

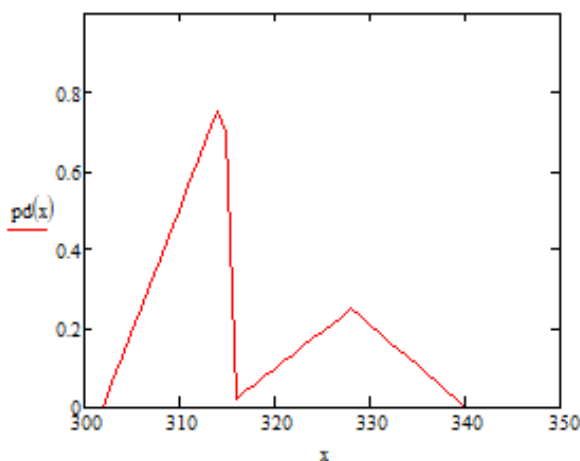


$$\frac{\int_{300}^{350} x \cdot od(x) dx}{\int_{300}^{350} od(x) dx} = 317.002 \quad +$$

**Рис. 3.5.1. Документ MathCAD із результатами застосування методу об'єднання та добутку для визначення витрати при T=85 °Cі розрахунок значення витрат, що відповідає даній температурі.**

На рис. 3.5.2. наведений документ MatCAD із прикладом розрахунку керувального впливу для температури 85 °C, та побудована фігура – результат застосування **метода підсумовування** при суперпозиції нечітких множин і **метода добутку** для модифікації правих частин правил. А також за допомогою розрахунку центру ваги фігури визначені значення витрати, що відповідає температурі 85 °C.

$pd(x) := \text{very\_low\_md}(x) + \text{low\_md}(x) + \text{norm\_md}(x) + \text{big\_md}(x) + \text{very\_big\_md}(x)$



$$\frac{\int_{300}^{350} x \cdot pd(x) dx}{\int_{300}^{350} pd(x) dx} = 317.002$$

**Рис. 3.5.2.** Документ MathCAD із результатами застосування методу підсумовування і добутку для визначення витрати при  $T=85\text{ }^{\circ}\text{C}$  і розрахунок значення витрат, що відповідає даній температурі.

На рис. 3.5.3. наведений документ MatCAD із прикладом розрахунка керувального впливу для температурі  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а також побудовано фігуру – результати застосування **методів об'єднання** для суперпозиції нечітких множин і **методу мінімуму** для модифікації правих частин правил. За допомогою розрахунка центру ваги фігури визначені значення витрат, що відповідають температурі  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$v1\_md(x) := \begin{cases} F\_very\_low(x) & \text{if } F\_very\_low(x) \leq very\_big \\ very\_big & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$l\_md(x) := \begin{cases} F\_low(x) & \text{if } F\_low(x) \leq big \\ big & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$n\_md(x) := \begin{cases} F\_norm(x) & \text{if } F\_norm(x) \leq norm \\ norm & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b\_md(x) := \begin{cases} F\_high(x) & \text{if } F\_high(x) \leq low \\ low & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$vb\_md(x) := \begin{cases} F\_very\_high(x) & \text{if } F\_very\_high(x) \leq very\_low \\ very\_low & \text{otherwise} \end{cases}$$

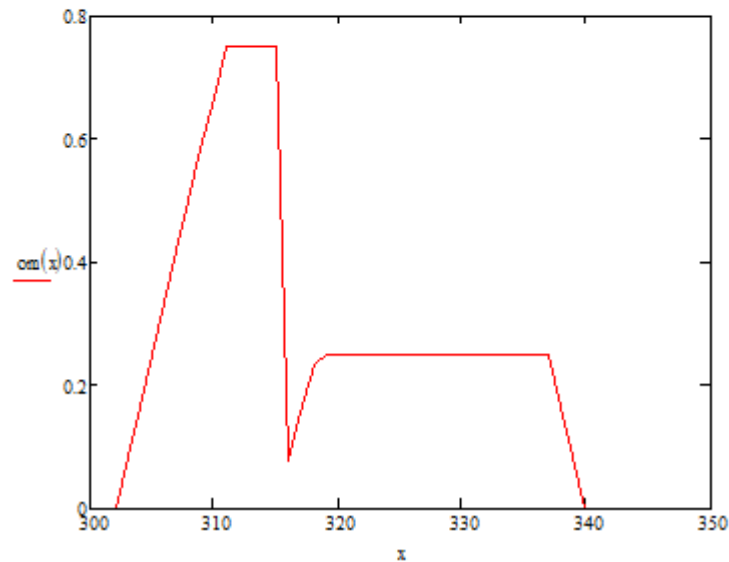
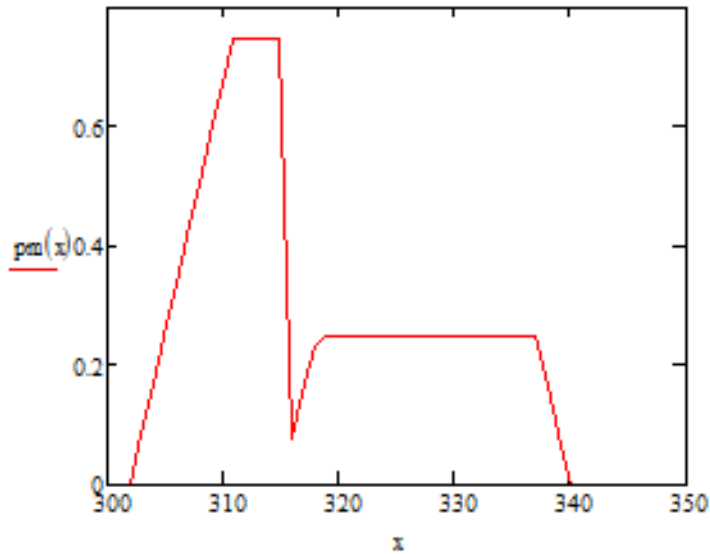
$$om(x) := \max(v1\_md(x), l\_md(x), n\_md(x), b\_md(x), vb\_md(x))$$


Рис. 3.5.3. Документ MathCAD з результатами застосування методів об'єднання та мінімуму для визначення витрат при  $T=85\text{ }^{\circ}\text{C}$  та розрахунок значень витрат, що відповідають даній температурі

$$\frac{\int_{300}^{350} x \cdot om(x) \, dx}{\int_{300}^{350} om(x) \, dx} = 318.287$$

На рис. 3.5.4. наведений документ MatCAD із прикладом розрахунків керувального вплива для температури  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ , та побудовано фігуру – результат використання **метода підсумовування** для суперпозиції нечітких множин і **методу мінімуму** для модифікації правих частин правил. За допомогою розрахунків центру ваги фігури визначені значення витрат, що відповідають температурі  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$pm(x) := v1\_md(x) + l\_md(x) + n\_md(x) + b\_md(x) + vb\_md(x)$$



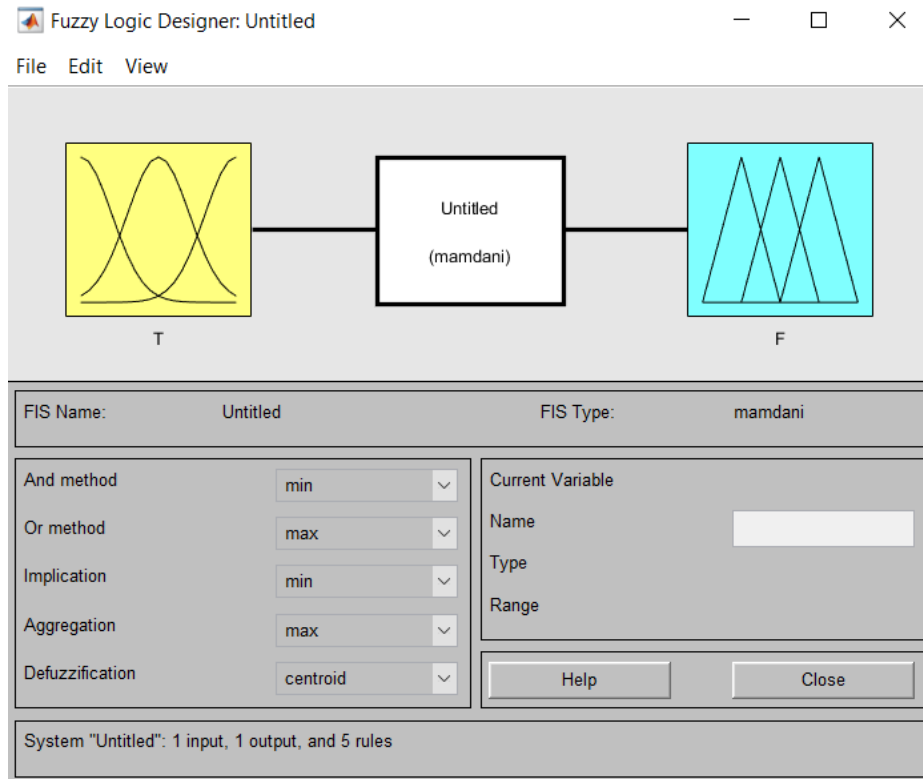
$$\frac{\int_{300}^{350} x \cdot pm(x) dx}{\int_{300}^{350} pm(x) dx} = 318.28$$

Рис. 3.5.4. Документ MathCAD із результатами застосування методів підсумовування і мінімуму для визначення витрат при температурі  $T=85\text{ }^{\circ}\text{C}$  розрахунки значень витрат, що відповідають даній температурі

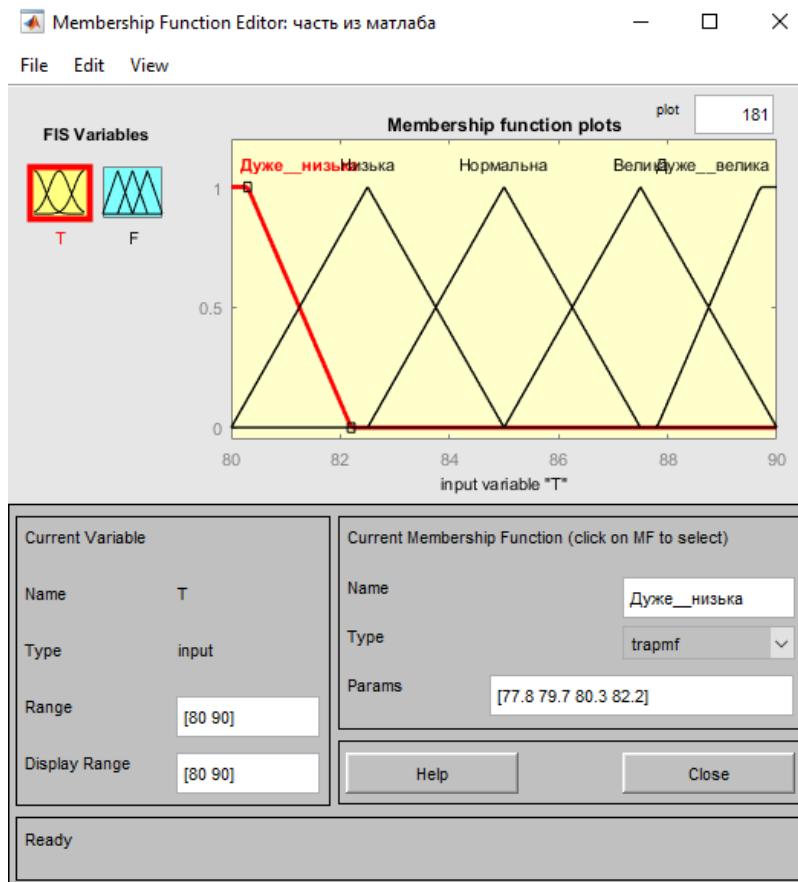
### 3.6. Результати реалізації нечіткої моделі і системи засобами MatLab

Результат реалізації НчАСК засобом програми MatLab подані у вигляді вікон наступного виду:

- схема НчАСК (рис. 3.6.1.);
  - редактори функцій належності для вхідних та керувальних змінних (рис. 3.6.2., рис. 3.6.3.);
  - редактори правил продукції після їх визначення (рис. 3.6.4.);
  - перегляду результату використання правил цієї продукції (рис. 3.6.5.);
- перегляда поверхні нечіткого висновку (рис. 3.6.6.).



**Рис. 3.6.1.Схема НЧАСК**



**Рис. 3.6.2.. Вікно редактора функцій належності для вхідної змінної «Температура»**

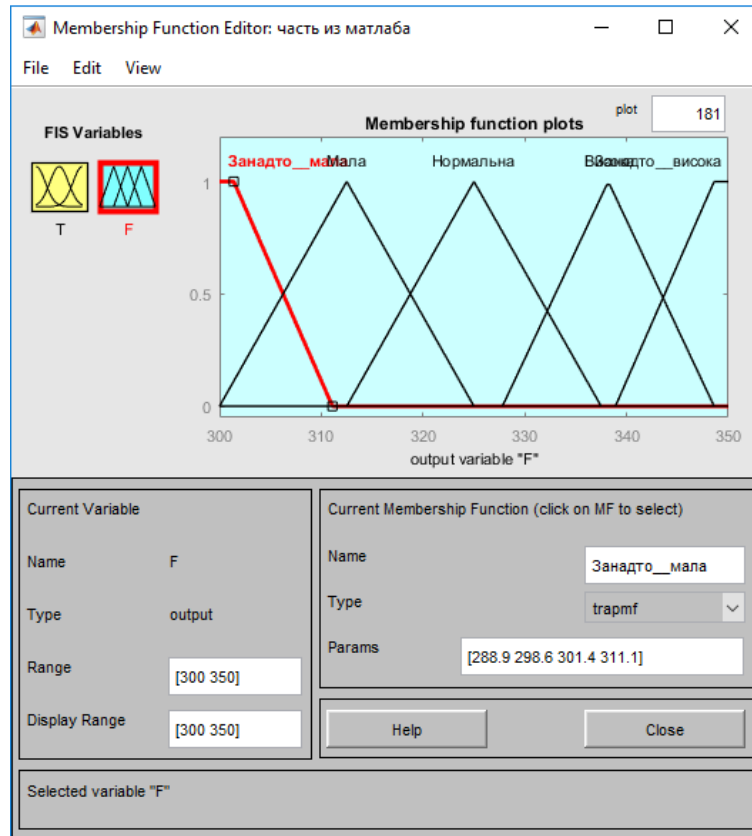


Рис. 3.6.3. Вікно редактора функцій належності для вихідної змінної «Витрата пари»

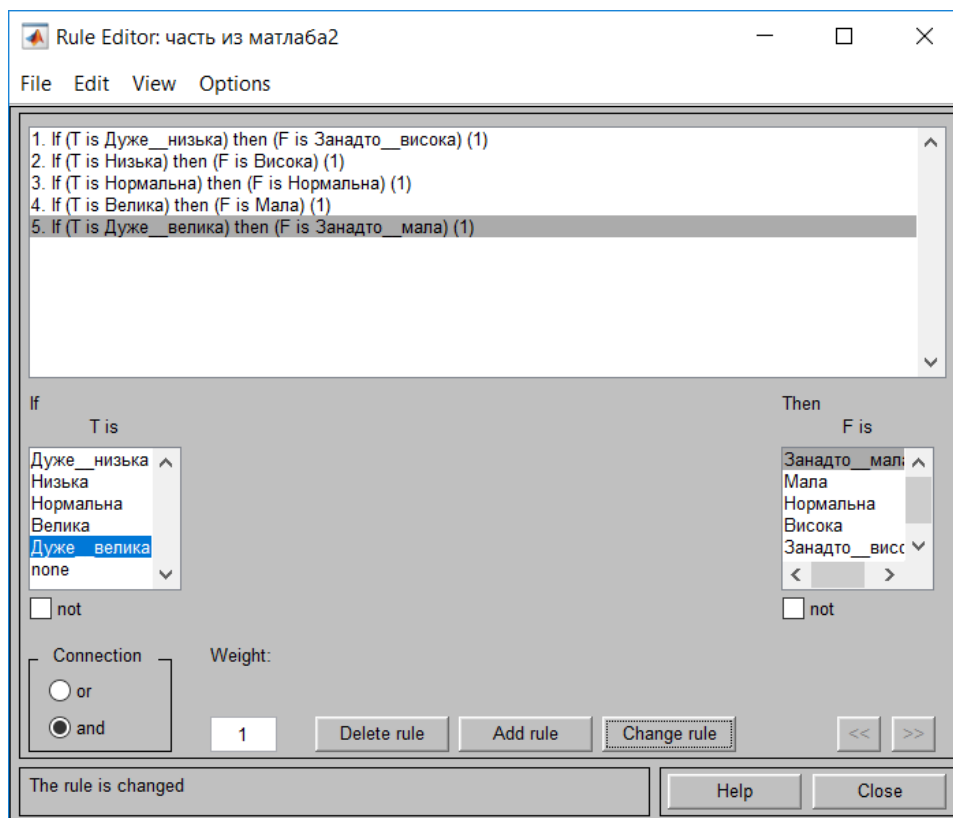


Рис. 3.6.4. Вікно редактора правил продукції після їх визначення

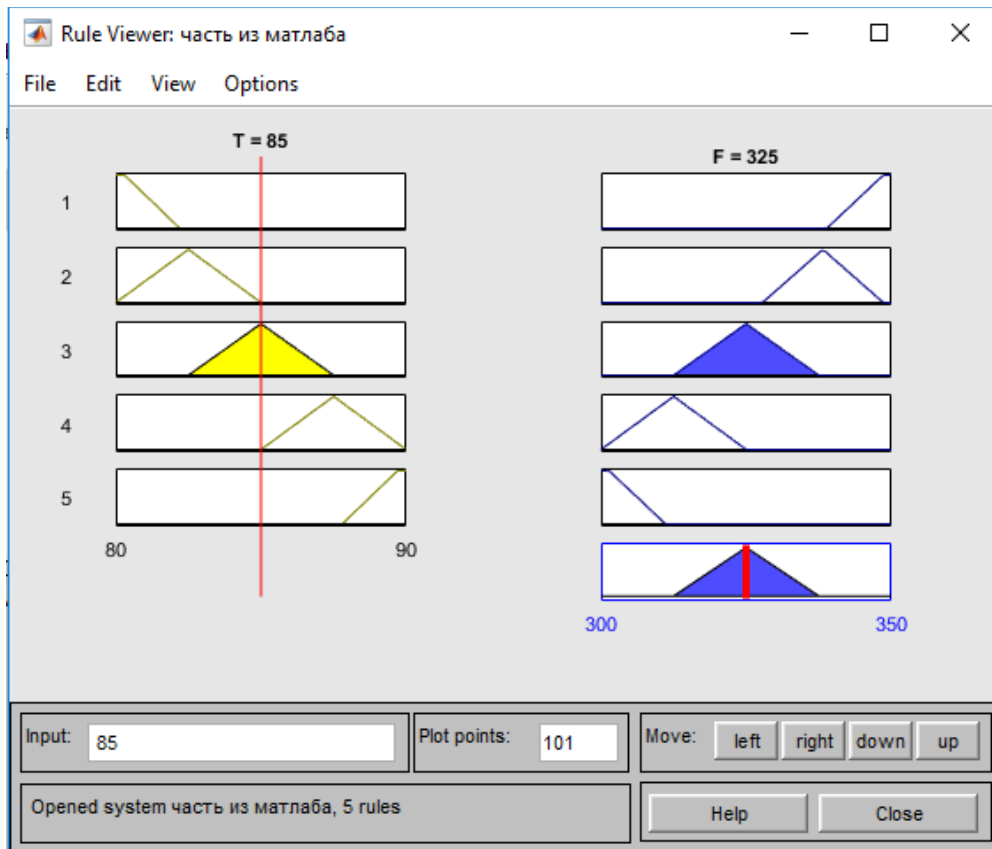


Рис. 3.6.5. Вікно перегляду результату використання правил продукції

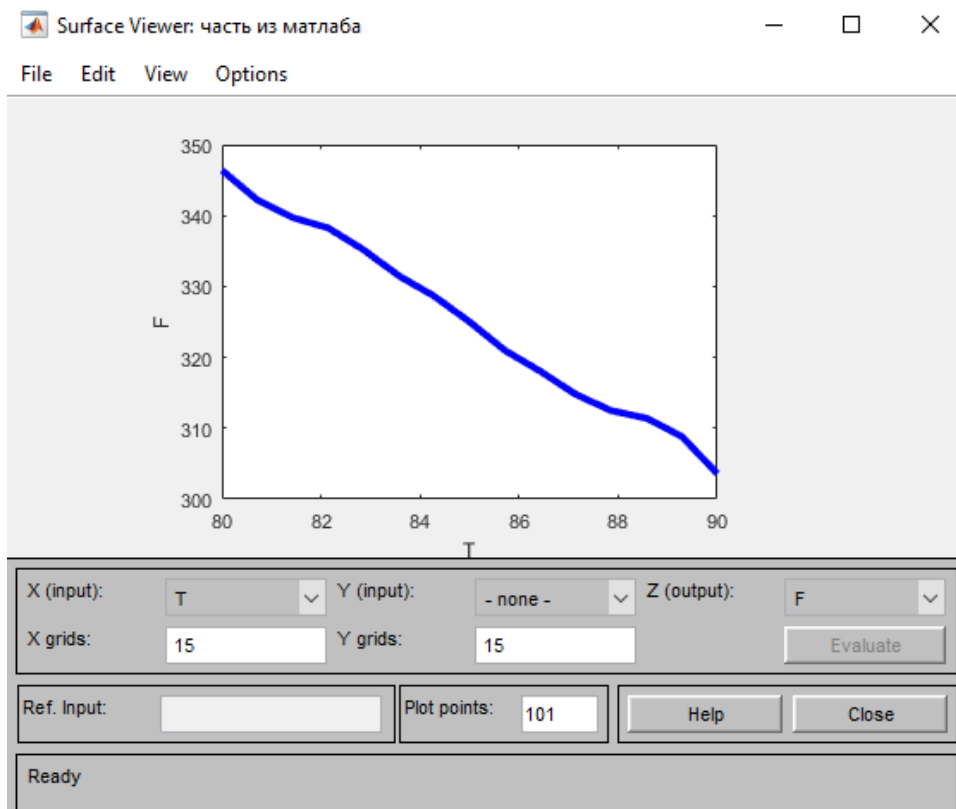


Рис. 3.6.6. Вікно перегляду поверхні нечіткого висновку

На основі отриманих результатів, зробимо висновок, що синетзована система керування із нечітким регулятором підходить чудово для керування клапаном в процесі коксування залишків з нафти, тому що важливо не допустити вихід концентрації за допустимі норми. Система із нечітким регулятором не дає перерегулювання, хоч і виходить на усталений рівень довше в порівнянні з ПІД – регулятором.

#### **4. Створення стартап-проекту**

Основна ідея проекту – створення системи керування процесом коксування залишків нафти .

Планується розробити систему керування процесом коксування залишків нафти для покращення якості регулювання за рахунок пришвидшення перехідного процесу.

Холодна або гаряча сировина насосом (M1 і M2) подається в конвекційний частину двокамерної печі (ДКП) 1, після чого проходить радіаційну частину першої зони печі. Нагріта до 360°C сировина поступає на верхню каскадну тарілку нижньої частини колони 3 і, стікаючи по тарілках, зустрічається з парами продуктів коксування, які поступають в нижню частину колони з камери.

Основною цільовою аудиторією для наших систем керування є державні та приватні підприємства хімічної промисловості, науково-дослідні інститути та лабораторії.

#### **Конкуренти**

Підприємства та компанії по створенню автоматизованих систем керування, проектні інститути, підприємства по створенню нових установок. Найбільші та найбільш конкурентоспроможні: ООО «Котрис», «КСК Автоматизація», «Техінсервіс», «Спецмонтажсервіс».

#### **Основна конкурентна перевага**

У робасній системі керування з використанням лінійно-квадратичного регулятора вимірюються вхідні та вихідні сигнали об'єкта, але, на відміну від інших систем, забезпечується стійкість системи.

У випадку з використанням робасних систем з ЛКР – регуляторами, не є необхідним мати високоточну математичну модель (як у випадку з ЛКГ - регуляторами), для того щоб синтезувати оптимальне керування.

Скільки потрібно грошей?

Для створення системи робасного керування з ЛКР-регулятором необхідно:

1. Персональний комп'ютер з орієнтованою вартістю 15 тис. грн.
2. Оренда приміщення – приблизно 10 тис. грн. / міс.
3. Пристрої та прилади з'єдань та підключень – 3 тис. грн.
4. Інтернет – 400 грн. / міс.
5. Комунальні послуги – орієнтовно 4000 грн. / міс.

Також бажано врахувати організаційні витрати, витрати на документацію та випробування – приблизно 5 тис. грн.

Не можна виключати також витрати на надзвичайні випадки – близько 3 тис. грн.

Оскільки на початку запуску проекту його реалізація планується за рахунок ідейних активістів проекту, то витрати на заробітну плату є опціональними. Врахуємо витрати на ЗП – 20 тис грн. в місяць. Оскільки проект має окупили себе за 2-3 місяці то загальна витрата на ЗП складе 60 тис. грн.

Тоді, сумарна вартість запуску проекту складе приблизно 130 тис. грн. Де шукати гроші?

В першу чергу наша компанія розраховує на державну підтримку, оскільки виробництво мінеральних добрив напряму пов'язано з підвищенням продуктивності

сільського господарства, яке закладено у Стратегію сталого розвитку України на період до 2030 року.

Але, для підвищення вірогідності запуску проекту (отримання грошей на нього) необхідно мати декілька варіантів отримання грошей, що в подальшому можна взаємозамінювати або комбінувати. Наш проект розглядає наступні альтернативні шляхи отримання фінансування:

1. Кредитування. Сьогодні отримати кредит на стартап досить таки складно навіть при наявності майна для застави, поручителя і грамотно прорахованого бізнес-плану, адже банкіри найчастіше віддають перевагу співробітництву з працюючим бізнесом. Правда, шанс є, але треба подавати кредитні заявки відразу в кілька банків.

2. Краудфандінг («crowd funding», народне фінансування). Являє собою механізм фінансування стартапів «широкими масами». Збір коштів на оригінальну бізнес-ідею можна проводити на різних засадах: наприклад, пожертвування (без фінансової вигоди для спонсорів) або так званий «краудінвестинг» (ті інвестори, хто вклав гроші, отримують фінансову винагороду). Існують спеціальні web-спільноти, що забезпечують функціонування краудфандінга.

3. Бізнес-ангели. Це приватні інвестори, які вкладають свої власні кошти в основному в інноваційні стартапи. Крім безпосередньо грошей, вони також зможуть інвестувати в проекти свої зв'язки, досвід, технології в обмін на частку в бізнес-проект.

4. Венчурне підприємство (англ. Venture company) - підприємство малого бізнесу, що займається дослідно-конструкторськими розробками або іншими наукомісткими роботами, завдяки яким здійснюються ризиковані проекти. Венчур буває зовнішнім і внутрішнім. Внутрішній венчур можна організувати своїми силами і венчурним підприємцем. Зовнішній венчур займається залученням коштів для здійснення ризикових проектів через пенсійні фонди, кошти страхових компаній, накопичення населення, кошти держави та інших інвесторів. На даний момент ми розглядаємо саме зовнішній венчур.

Треба зауважити, що наша компанія готова співпрацювати з різними партнерами і використовувати комбіноване інвестування.

## **Команда**

Наша команда – група інженерів-ентузіастів. Всі задачі ми вирішуємо командно, підтримуючи та доповнюючи досвід та знання один одного.

## **Аналіз маркетингового середовища**

Товаром в нашому проєкті є системи керування на основі ЛКР-регулятора. Також в якості товару можна розглядати послуги по їх обслуговуванню.

## **Аналіз внутрішнього середовища**

### **Загальна інформація про компанію:**

#### *Історія розвитку підприємства*

Метою діяльності нашої команди є створення дійсно якісного продукту, що стане невід’ємною частиною виробництва і збільшить його якість, енерго- та ресурсоефективність. Саме тому уся наша діяльність спрямована на дослідницькі заходи покращення та уточнення розробки для подальшого її впровадження на реальні підприємства.

#### *Асортимент товарів та послуг*

На даному етапі товаром, що ми пропонуємо, є системи керування на основі ЛКР-регулятора. Також ми пропонуємо послуги по впровадженню, обслуговуванню та супроводу цих систем. В подальшому, наша команда готова запропонувати послуги по навчанню персоналу компаній-клієнтів, що будуть працювати з обладнанням наших систем.

#### *Корпоративні стандарти*

Краще зробити щось одне, але добре.

Люди і взаємодія важніше процесів та інструментів. Ззовні можна отримати більше інформації.

Гарно працюючий продукт важливіший за вичерпну документацію. Готовність до змін важливіша за дотримання вихідного плану.

Якщо ти можеш зробити більше, ніж від тебе очікували – ти правий. Якщо ти можеш спростити роботу (колегам або клієнту) – ти правий.

Всі проблеми вирішити неможливо, але будь-яку з них можна перетворити в задачу – джерело нових ідей.

## **Ресурси і обмеження**

Найвагоміші ресурси нашої фірми – інтелектуальні, такі як знання, навички та виробничий досвід нашої команди та помічників і розроблені нами і нашими колегами патенти, бази даних, програмне забезпечення для реалізації поставлених цілей. А також інформаційні у вигляді наукових розробок попередніх дослідників та наших колег. В подальшому ми плануємо залучати фінансові ресурси у вигляді інвестицій з різних боків, технологічні у вигляді вже готових компонентів та елементів для наших систем. Основними обмеженнями є молодість та поки невідоме ім'я нашої фірми для пошуку необхідних ресурсів, яких не вистачає. Також певна консервативність суспільства, через яку підприємства обирають менш ефективну але перевірену роками продукцію. Також важливим є обмеженість фінансових ресурсів на початку розробок.

## **Короткий опис товару, якому присвячено аналіз маркетингового середовища.**

### *Три рівні товару, його особливості*

Товар за задумом: робасні системи керування для забезпечення оптимального управління; зменшення витрат енергетичних, матеріальних та людських ресурсів на виробництво.

Товар у реальному виконанні: системи керування, особливістю яких є використання лінійно-квадратичного регулятора.

Товар з підкріпленням: впровадження, обслуговування та супровід систем, навчання персоналу.

### *Ринкова історія товару*

30 років тому автоматизація передбачала закупівлю дорогих комп'ютерів і ПО, що мали власну компонентну базу, архітектуру, часто власну ОС і прикладне ПЗ. Це визначало високу вартість систем керування в той час. PCY і SCADA з власною програмно-апаратною архітектурою панували в промисловій автоматичі аж до початку

90-х рр. З початку 90 х рр. з'явилися спроби поширення PC-архітектури і на промислові контролери та системи керування. Але в той час, ціни на PC сумісні пристрої в порівнянні з ПЛК ще були досить високі, а надійність систем та програмно- апаратних комплексів на PC платформі не завжди була досить високою, і в цьому важливому сегменті ринку революція поки ще не відбулася. З подальшим розвитком технологій, переведення систем керування на PC-платформу призвело до зменшення витрат на обладнання, підвищення точності керування, тощо. Це обумовило актуальність та певну вартість таких систем керування. В наш час системи автоматизованого управління є доволі звичним явищем для різноманітних підприємств. Тому, для виводу на цей ринок свого товару, необхідно, щоб він був принципово новим і давав суттєву перевагу для виробництва, порівняно з іншими. Але при цьому не має страждати надійність системи.

### *Визначення етапу життєвого циклу товару*

Сучасні системи автоматизованого управління як товар в нашій країні на даний момент знаходиться на стадії зрілості. Рівень продажів стабілізувався, темпи приросту максимально сповільнюються. Досягнутий пік продажів, що забезпечує стабільний дохід за рахунок сформованої споживчої бази. Для підвищення прибутку у цій галузі необхідне збільшення інвестицій для збереження рівня продажів, необхідна жорстка цінова боротьба - зниження цін і акції. Але найголовніше - це необхідність нових досліджень і розробок для стимулювання нової стадії зростання товару.

### **Динаміка розвитку галузі:**

#### *Основні оператори ринку*

В Україні: ВАТ «Котрис», ТОВ «КСК Автоматизація», ВАТ «Техінсервіс», ТОВ «Спецмонтажсервіс», ВАТ «Системна автоматизація»,

У Світі: Корпорація «AUTONICS» (Південна Корея), «Beckhoff» (Німеччина), Концерн «Invensys» (США), Корпорація «Emerson Process Management» (США), Корпорація «Honeywell International» (США).

#### *Економічні та соціальні тенденції ринку*

В часи переходу суспільства до інформаційного складається сприятлива обстановка до створення та розвитку інновацій на виробничому ринку, все це обумовлює зростання попиту на осучаснені засоби промислової автоматизації;

Промислове виробництво багатьох країн інтенсивно розвивається, виникає велика затребуваність нових, технічно складних засобів автоматизації, що дозволяють вирішувати серйозні системні завдання. Це свідчить про те, що попит на все більш досконалі системи автоматичного управління буде зростати;

Зростання цін на енергоносії, на оплату найманої праці викликає необхідність економії, а, отже, і застосування максимального рівня автоматизації, тому що саме автоматизація процесів дозволяє створити режим реальної економії.

### *Характеристики ринку*

За останні десятиліття цей ринок демонстрував скромні темпи зростання, хоча після кризи в 2009 році він пережив значні зміни. Після них ринок став більш ефективним, покращилася кадрова ситуація на ньому, сформований потенціал для підйому на наступні роки. Прогнозується, що в подальші роки продажі будуть щорічно рости на 4% і, наприклад до кінця 2018 досягнуть \$ 8,7 млрд. Динаміка збільшення попиту на САПР в регіонах залежить від місцевої економічної ситуації. У країнах, де економіка знаходиться на підйомі (наприклад, Китай, США, Індія, Росія, Японія, Індонезія, Німеччина тощо), підвищуються обсяги виробництва, а значить і краще продаються системи та софт для автоматизації проектування.

Основними споживчими сегментами на ринку промислової автоматизації є енергетика, нафтовидобувна галузь, вугільна промисловість, хімічна, нафтохімічна, харчова промисловість, галузь будівництва.

Досвід великих компаній на цьому ринку показує, що важливо мати можливість користуватися різними каналами розподілу – починаючи від прямого маркетингового каналу (без посередників), закінчуючи складними схемами, що включають окрім оптових та роздрібних посередників, також і функціональних. Але, на даному етапі, наша компанія розглядає для себе найпростішу схему каналів розподілу, оскільки на стадії первинного виробництва і впровадження товару дуже

важливим є його супровід та технічна підтримка, що не може бути забезпечене посередниками.

Конкуренція на ринку промислової автоматизації суттєва, але основними конкурентними перевагами інших підприємств є відоме ім'я та великі обсяги виробництва, а нашою – інноваційність, принципово новий підхід, та «близькість» до споживача.

### **Актуальність проведення аналізу маркетингового середовища підприємства.**

Маркетингова діяльність як найважливіша функція в сфері підприємництва має забезпечити стійке, конкурентоздатне положення підприємства на ринку товарів і послуг з урахуванням стану внутрішнього і зовнішнього середовища. Маркетингові дослідження і його результати сприяють ефективній адаптації виробництва і його потенціалу до стану ринку і вимог кінцевого споживача. А для молоді, невідомої компанії дуже важливо зайняти своє правильне місце на ринку товарів та послуг.

Головна мета наших маркетингових досліджень - це генерування маркетингової інформації для прийняття рішень в області взаємодії суб'єктів маркетингової системи, які забезпечували б необхідні ринком кількість і якість товарних і сервісних угод при дотриманні вимоги основних факторів зовнішнього середовища і споживача.

Викладена вище загальна інформація систематизується у вигляді переліку факторів внутрішнього маркетингового середовища фірми за такими групами:

#### *Організаційно-правові:*

1. Форма власності – Партнерська приватна власність
2. Форма організації – Товариство з обмеженою відповідальністю
3. Організаційна структура – Лінійна
4. Система менеджменту.

За змістом - стратегічна - припускає обґрунтування, вибір перспективних цілей, шляхів розвитку підприємства, підвищення конкурентоспроможності, довгострокове планування, розробка цільових програм.

За об'єктом керування:

інноваційна (НТ) - організація, управління дослідженнями, освоєнням, розробкою, розподілом нововведень згідно з перспективними, стратегічними цілями, результатами маркетингових досліджень;

креативна (творча) - прагнення реалізації досвіду, знань, ідей, за допомогою організації науково-дослідних, креативних, дослідно-конструкторських дій;

1. Стиль керівництва - Демократичний

*Ресурси:*

2. Фінансові – як власні, так і залучені. Державна підтримка, кредитування, краудфандінг, зовнішній венчур.

3. Виробничі та складські потужності: поки обмежуються факультетськими лабораторіями. В подальшому залежать від фінансових ресурсів та міри впроваджуваності нашого проекту.

4. Технології: усі існуючі розробки нашої команди, колег, готове сучасне обладнання, компоненти та елементи систем, попередні зразки систем керування. Експериментальна установка для випробування системи.

5. Інформаційні: недокументовані – індивідуальні та колективні знання спеціалістів, документовані - наукові розробки та дослідження, статистичні дані, проекти, аналітичні та практичні моделі.

6. Трудові: команда ентузіастів. В подальшому планується поповнити склад проектувальників та досвідчених інженерів для створення та обслуговування систем, а також організаційного персоналу для ведення документації та справ підприємства.

7. Інтелектуальні: знання, навички та виробничий досвід нашої команди та помічників і такі нематеріальні активи, як патенти, бази даних, програмне забезпечення для реалізації поставлених цілей.

8. Правові – усі правові та інформаційні ресурси в мережі Інтернет

Таблиця 5.1 – Аналіз внутрішнього маркетингового середовища підприємства

Внутрішні фактори	Вплив фактору		Симптоми проблеми/можливості
	Можливості	Загрози	
Проблеми стратегічного планування	Складність прогнозування, визначення цілей, завдань роботи компанії і методів їх досягнення		Проведення комплексних маркетингових досліджень, розробка стратегії діяльності компанії з урахуванням кризи
Високий інтелектуальний потенціал компанії		Кваліфіковані, лояльні і добре мотивовані працівники як інструмент для досягнення конкурентних переваг	Оптимізація управління трудовими ресурсами; розробка методів, спрямованих на підвищення продуктивності праці
Недостатній рівень фінансування	Поступовий фізичний знос устаткування		Внесення змін до фінансового плану компанії; пошук нових інвесторів
Інноваційність технології	Втрата потенційних клієнтів-консерваторів	Співпраця з клієнтами, орієнтованими на оновлене виробництво	Пошук клієнтів-новаторів Спроби приваблювати консерваторів доведенням якості систем

Невідоме «ім'я» підприємства	Відсутність поганого досвіду у клієнтів	Недовірливе ставлення потенційних клієнтів	Використання різноманітних способів просування, створення презентацій, перевірка дійсної якості товару
------------------------------------	---	---	--

Таблиця 5.2 – Необхідна інформація

№ п/п	Необхідна інформація
1	Комплексні маркетингові дослідження
2	Стратегії діяльності компанії з урахуванням кризи
3	Оптимізоване управління трудовими ресурсами
4	Методів, спрямовані на підвищення продуктивності праці
5	Нові інвестори для компанії
6	Пошук клієнтів-новаторів
7	Шляхи та методи приваблювання клієнтів-консерваторів
8	Способи просування, різноманітні презентацій компанії та товару

### Аналіз зовнішнього маркетингового середовища

Таблиця 5.3 – Підсумкова таблиця факторів політико-правового середовища

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Діяльність підприємства регулюється законодавчими актами і законами	За допомогою ліцензування та сертифікації можна підвищувати		Дотримання захисту прав споживачів, забезпечення безпеки праці, часу роботи,

	якість реалізованих товарів і послуг.		мінімальної заробітної плати
Наявність складової хімічної промисловості в Стратегії сталого розвитку України	Отримання державних інвестицій для впровадження технології		Пошуки каналів зв'язку з потрібними державними установами для отримання інвестицій
Спрямованість України до Європи	Розширення ринку збуту товару	Витіснення вітчизняного товару закордонним	Підведення товару компанії до вимог та стандартів Європейського середовища

Таблиця 5.4 – Підсумкова таблиця факторів економічного середовища

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Світова економічна криза		Недостатнє фінансування, відсутність інвесторів	Пошук шляхів здешевлення товару без компенсування цього за рахунок його якості
Падіння рівню промисловог о виробництва в країні		Мала кількість місць впровадження технології	Пошук закордонних клієнтів

Економічний потенціал країни		Недостатність клієнтів-підприємств, що можуть дозволити собі оновлення систем	Вивід товару на закордонні ринки
------------------------------	--	---	----------------------------------

Таблиця 5.5 – Підсумкова таблиця факторів науково-технічного середовища

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Інтенсивний розвиток науково-технічного прогресу	Для того, щоб бути конкурентоспроможним, підприємству необхідно відповідати все більш зростаючим вимогам до технології та обладнання.		Спостереження та впровадження технологій, що йдуть в ногу з часом
Поява нових інноваційних технологій керування та виробництва		Поява нових конкурентів	Постійний розвиток та вдосконалення товару, орієнтація на постійних клієнтів

Таблиця 5.6 – Підсумкова таблиця факторів демографічного середовища

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
<i>Демографічне середовище не має явно вираженого впливу на компанію</i>			

Таблиця 5.7 – Підсумкова таблиця факторів соціокультурного середовища

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Консервативний менталітет українських клієнтів		Вибір перевірених технологій перевірених виробників замість інноваційних	Демонстрація на практиці переважання якості товару за рахунок його інноваційності
Людський фактор, що виражається у бажанні позбавитися від зайвої роботи	Перевага над конкурентами за рівнем автоматизації, зниженням кількості людської праці		Вдосконалення елементів системи для зниження рівня людської праці

Таблиця 5.8 – Підсумкова таблиця факторів природного середовища

Фактори	Вплив фактору	
---------	---------------	--

	Можливості	Загрози	Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
Спрямованість до енергозберігаючих та екологічно-безпечних технологій	Перевага над конкурентним товаром за рахунок малокомпонентності, енергоефективності, екологічної безпеки		Пошук шляхів доведення та представлення переваг товару компанії над конкурентами

### Аналіз факторів мікроркетингового середовища

Таблиця 5.9 – Підсумкова таблиця впливу споживачів

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Здатність покупців торгуватися		Втрата потенційних клієнтів через велику вартість товару та послуг	Співпраця з клієнтами на взаємовигідних умовах поступок
Бажання споживачів мати не тільки якісний, але	Подолання конкурентів за рахунок унікального дизайну	Втрата клієнтів через невідповідність зовнішнього вигляду товару	Постійна робота над дизайном та ергономічністю товару

й естетично гідний товар			
Орієнтація споживачів на певну торгівельну марку		Втрата потенційно важливих клієнтів	Робота над іміджем компанії, доведення слів ділом, підтвердження якості товару

Таблиця 5.10 – Підсумкова таблиця впливу конкурентів

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Суперництво між наявними конкурентами		Витіснення конкурентами компанії з ринку	Порівняння, аналіз товару конкурентів, запозичення гарних тенденцій та запобігання помилок конкурентів
Поява нових конкурентів		Рівень інноваційності нових конкурентів перевищить рівень інноваційності компанії	Моніторинг ринку, спроби технологічно випереджувати конкурентів

Поява товарів-замінників		Поява інноваційного промислового обладнання, що не потребує впровадження пропонованих систем	Робота над адаптивністю систем для впровадження на різні типи, види та рівні виробництва
--------------------------	--	--	--

Таблиця 5.11 – Підсумкова таблиця впливу постачальників

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Здатність постачальників торгуватися	Домовленість на взаємовигідних умовах поступок	Втрата важливих постачальників	Дипломатичність у спілкуванні з постачальниками, при необхідності просування компаній-постачальників
Зменшення кількості можливих постачальників в умовах кризи		Втрата постійних постачальників	Наявність зв'язків з різними постачальниками, що можуть бути взаємозамінні

Таблиця 5.12 – Підсумкова таблиця впливу контактних аудиторій

Фактори	Вплив фактору	
---------	---------------	--

	Можливості	Загрози	Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
Внутрішня контактна аудиторія підприємств а	Підвищення продуктивності розробок за рахунок ефективної командної діяльності	Зниження продуктивності розробок за рахунок поганих відносин у колективі	Підвищення командного духу, проведення тимблдингів, корпоративів, пошук спільних інтересів
Засоби масової інформації	Просування власного бренду	Просування конкурентів, публікація неправдивої інформації	Просування власного бренду за рахунок взаємодії з різними видами ЗМІ
Професійно-технічні конференції, спільноти	Здобування підприємством «власного імені» у професійно-технічній спільноті		Співпраця з цими спільнотами, відвідування тематичних заходів, використання будь-якої можливості заявити про себе

Таблиця 5.13 – Формулювання управлінської проблеми  
SWOT- аналіз

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Високий інтелектуальний потенціал компанії</li> <li>- Інноваційність технології</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Невідоме «ім'я» підприємства</li> <li>- Недостатній рівень фінансування</li> <li>- Висока конкуренція на ринку</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Високий рівень енергозбереження та ресурсозбереження загалом</li> <li>- Адаптованість продукту на суміжні ринки</li> <li>- Можливість виходу на закордонний ринок</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Зменшення кількості можливих постачальників в умовах кризи</li> </ul>
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Перевага над конкурентним товаром за рахунок малокомпонентності, енергоефективності, екологічної безпеки....</li> <li>- Підвищення продуктивності розробок за рахунок ефективної командної діяльності</li> <li>- Подолання конкуренції за рахунок унікального дизайну систем</li> <li>- Плідна співпраця з постачальниками на взаємовигідних умовах поступок</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Поява інноваційного промислового обладнання, що не потребує впровадження пропонованих систем</li> <li>- Витіснення конкурентами компанії з ринку</li> <li>- Недостатнє фінансування, відсутність інвесторів</li> <li>- Недостатність клієнтів-підприємств, що можуть дозволити собі оновлення систем</li> <li>- Витіснення вітчизняного товару закордонним</li> </ul>

***Управлінська проблема:***

Удосконалення стратегії просування інновації шляхом формування бренду і спрощення ставлення клієнтів до інновацій

Таблиця 5.14 –Слабкі та сильні сторони альтернативних шляхів вирішення управлінської проблеми

Альтернативи	Слабкі сторони	Сильні сторони
--------------	----------------	----------------

<p>1. Підведення товару компанії до вимог та стандартів Європейського середовища</p>	<p>Незадоволеність клієнтів-консерваторів, що звикли тільки до ГОСТу</p>	<p>Подолання конкуренції посиленням на європейські стандарти якості</p>
<p>2. Пошуки каналів зв'язку з потрібними державними установами для отримання інвестицій</p>	<p>Втрата додаткових інвесторів, що не захочуть ділити прибуток з державою</p>	<p>Впровадження технології на державний рівень та вищі</p>
<p>3. Пошук клієнтів-новаторів Спроби приваблювати консерваторів доведенням якості систем</p>		<p>Розширення клієнтської бази</p>
<p>4. Використання різноманітних способів просування, створення презентацій, перевірка дійсної якості товару</p>	<p>Виникнення «чорного» піару</p>	<p>Формування «імені» бренду, яке впізнають</p>
<p>5. Демонстрація на практиці переважання якості товару за рахунок його інноваційності</p>		<p>Зміна ставлення до інновацій, розширення меж потенціальних клієнтів</p>
<p>6. Вдосконалення елементів системи для зниження рівня людської праці</p>	<p>Зменшення кількості робочих місць на виробництвах-клієнтах</p>	<p>Збільшення рівню прибутку для виробництв-клієнтів</p>

<p>7. Підтримання співпраці з постійними клієнтами</p>	<p>Недостатня кількість уваги новим клієнтам</p>	<p>Підтримання стабільної бази постійних клієнтів</p>
<p>8. Спостереження та впровадження технологій, що йдуть в ногу з часом</p>	<p>Втрата важливих елементів перевірених технологій в пошуках кращого</p>	<p>Створення принципово нового, більш інноваційного продукту</p>
<p>9. Робота над іміджем компанії, доведення слів ділом, підтвердження якості товару</p>	<p>Виникнення «чорного» піару</p>	<p>Формування «імені» бренду, яке впізнають, розширення клієнтської бази, знаходження компаній для співпраці</p>
<p>10. Робота над адаптивністю систем для впровадження на різні типи, види та рівні виробництва</p>	<p>Велика витрата часу, ресурсів</p>	<p>Можливість розширити ринок для продажу</p>
<p>11. Просування власного бренду за рахунок взаємодії з різними видами ЗМІ</p>	<p>Виникнення «чорного» піару</p>	<p>Формування «імені» бренду, яке впізнають</p>
<p>12. Співпраця з науково-технічними спільнотами, відвідування тематичних заходів, використання будь-якої можливості заявити про себе</p>		<p>Формування «імені» бренду, яке впізнають, розширення клієнтської бази, знаходження компаній для співпраці</p>

## Конкурентний аналіз

Таблиця 5.13. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
<p>1. Тип конкуренції: Монополістична</p>	<p>Товар кожної фірми, яка торгує на ринку, є недосконалим замінником товару, який реалізують інші фірми. Диференціація товарів створює можливість обмеженого впливу на ринкові ціни, так як багато споживачів зберігають прихильність до конкретної марки і фірми навіть при деякому підвищенні цін.</p>	<p>Компанія повинна робити ставку на основні відмінності своєї продукції (за якістю, економічністю, конкретними фізичними характеристиками). Велика кількість продавців виключає можливість змови, не дає особливо впливати на ринкові ціни.</p>
<p>2. Рівень конкурентної боротьби: Національна - конкуренція між компаніями всередині країни</p>	<p>Менше компаній-конкурентів, за рахунок того, що іноземні компанії не конкурують з національними.</p>	<p>Першим кроком орієнтуватися та виходити на національний ринок, збирати зворотній зв'язок, проблеми та побажання. Охоплювати у співпраці максимальну кількість національних клієнтів, спілкуватися з ними особисто. Паралельно працювати над іміджем компанії.</p>

<p>3. За галузевою ознакою: Міжгалузева</p>	<p>Системи керування можна використовувати для різногалузевих виробництв та процесів</p>	<p>Створення порівняно удосконалених систем, що будуть адаптованими до різногалузевих клієнтів.</p>
<p>4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова</p>	<p>Під час прийняття рішення про купівлю САК клієнт буде обирати кращу за властивостями, або за ступенем вдоволення певних потреб</p>	<p>Передбачення способів просування товару та демонстрації його переваг з урахуванням потреб та точок зору різних категорій клієнтів</p>
<p>5. За характером конкурентних переваг: цінова</p>	<p>За рахунок покращення з точки зору клієнта співвідношення ціна/якість підвищується конкурентоспроможність товару</p>	<p>Постійне спостереження та оцінка цінової політики на ринку. Регулювання ціни в комплексі з якістю товару. Просування товару методами, що використовують фактичні розрахунки переваг товару (у чисельному вигляді)</p>
<p>6. За інтенсивністю: марочна</p>	<p>Для вдалого просування, підвищення каналів збуту, кількості клієнтів та партнерів необхідно зарекомендувати себе, створити власне ім'я</p>	<p>Створення логотипу, нанесення його (або назви) на продукт. Реклама в інтернеті. Збільшення кількості ділових контактів.</p>

Таблиця 5.14. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	«КОТРИС» (К), «КСК Автоматизація» (КСК), «Техінсервіс» (Т), «Спецмонтажсервіс» (С)	Основні бар'єри входження на ринок: ефект масштабу великих компаній, недостатність інвестицій, обмежена можливість науково-дослідницьких та досвідно-конструкторських робіт	Існує загроза інтегрування постачальників в бізнес (відома подібна практика закордоном)	Цінова чутливість покупців. Прихильність до відомих брендів. Негативне ставлення до інновацій	Інші фірми виробляють схожу продукцію. Але на даний момент аналогів по показникам продуктивності немає

Висновки:	<p>Основна перевага – досвід, відоме ім'я.</p> <p>Але, за рахунок інновацій, тісного контакту з клієнтом можна заробити імідж та отримати клієнтів.</p>	<p>Можливість входу на ринок існує.</p> <p>Потенційними конкурентами можуть стати схожі підприємства-новатори.</p>	<p>Постачальники загалом не диктують умови. На даний момент існує велика низка можливих постачальників.</p> <p>Наш продукт є доволі адаптованим для видозмінених компонент.</p>	<p>Диктують умови на ринку: якщо співвідношення ціна/якість буде не співмірним, можуть відмовитися від продукту, оскільки є з чого вибрати</p>	<p>Мінімальні обмеження через товари-замінники.</p>
-----------	---	--	---	--	---

Таблиця 5.15. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Доступна ціна	За рахунок малокомпонентності системи – загальна вартість знижується
2.	Інноваційність технології	Впровадження робастного алгоритму для керування дуже рідко застосовується у цьому напрямку
3.	Енерго- та ресурсозбереження	Завдяки підвищенню точності керування підвищується ефективність процесу. Це дозволяє отримувати більше якісного продукту з меншою витратою ресурсів

4.	Адаптованість продукту на суміжні ринки	Використання систем ідентифікації та керування такого виду можна адаптувати під різні галузі виробництва
5.	Можливість виходу на закордонний ринок	Інноваційність технології дозволяє впроваджувати ці системи не тільки на території України
6.	Малокомпонентність	Порівняно невелика кількість компонентів на відміну від систем відомих виробників.

Таблиця 5.16. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін системи робасного керування з використанням лінійно-квадратичного регулятора

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з «INNOVATION»						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Доступна ціна	18			К, Т	КСК	С		
2.	Інноваційність технології	20	Т, С	К	КС К				
3.	Енерго- та ресурсозбереження	15	Т	К, С	КС К				
4.	Адаптованість продукту на суміжні ринки	15			Т, С		К	КС К	
5.	Можливість виходу на закордонний ринок	10			Т, С			К	КСК
6.	Малокомпонентність	17	Т	С, К		КСК			

Таблиця 5.17. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є «першопрхідцем»?	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	Треба починати з клієнтів, не зациклених на відомому бренді, тих, хто готовий експериментувати.	Загальним для нашого товару і конкурентного є тільки основна ідея, а структура, компоненти, їх співвідношення є унікальними	Стратегія заняття конкурентної ніші

Таблиця 5.18. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	1. Аргументована ціна. 2. Супроводження товару	Стратегія диференціації	1. Продукція вищої якості за конкурентну 2. Можливість економити на ресурсах 3. Програми лояльності за тривалі контракти 4. Супровід товару	1. Висока якість та надійність. 2. Тривалі контракти. 3. Програми лояльності.

	3. Необхідна якість			
--	---------------------------	--	--	--

Таблиця 5.19 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку про- понує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Висока актуальність системи робасного керування у різних галузях	Збільшення чистого прибутку. Покращення якості продукту	- Високий інтелектуальний потенціал компанії - Інноваційність технології - Високий рівень енергозбереження та ресурсозбереження загалом - Адаптованість продукту суміжні ринки - Підвищення продуктивності процесу та якості товару

Таблиця 5.20 – Опис трьох рівнів моделі товару

Обрана альтерна тива розвитку проект у	Сутність та складові		
I. Товар за задум ом	Покращення якості перехідних процесів, забезпечення стійкості систем.		
II. Товар у реаль- ному виконанні	Властивості/характеристики	м <sup>2</sup>	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	Системи робасного керування з використанням лінійно- квадратичного регулятора.	1x1,5	60 тис. грн Можна підключити на

	<p>Надійність</p> <p>Малокомпонентність</p> <p>Енерго- та ресурсозбереження</p> <p>Доступна ціна</p> <p>Інноваційність технології</p>		<p>будь-якому зручному місці для обслуговуючого персоналу.</p> <p>Захищені від потрапляння води та інших речовин, електричнозаізовані компоненти.</p> <p>U=360V; та U=220V.</p> <p>I=20mA;</p>
	<p>Якість: відповідає Європейським нормам та ДСТУ.</p> <p>Тестування проводиться перед встановленням, а також на місці.</p>		
	<p>Пакування – картонне пакування із спеціальними захисними матеріалами всередині для уникання деформацій чи пошкодження</p>		
	<p>Марка: «INNOVATION»</p>		
<p>III. Товар із підкріпленням</p>	<p>До продажу:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• програми лояльності при підписанні довготривалого контракту;</li> <li>• різні способи доставки;</li> <li>• різні способи оплати;</li> <li>• демонстрації та моделювання роботи</li> </ul>		
	<p>Після продажу:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• впровадження;</li> </ul>		

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• обслуговування;</li> <li>• супровід;</li> <li>• навчання персоналу;</li> <li>• гарантія повернення грошей і обміну товару.</li> </ul>
<p>За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: буде розроблено патент на винахід, на кожному приладі буде акцизна марка та фірмовий штамп.</p>	

Таблиця 5.21 – 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.	25-40 тис. грн	немає	70-130 тис. грн	Верхня: 30 тис. грн Нижня: 23 тис. грн

Таблиця 5.22 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Клієнти хочуть на власні очі	Гарантія Тестування	Нульовий рівень. Наша компанія сама	Власна система

	бачити систему та її тестування перед закупівлею, потребують доставки, впровадження, консультацій, супроводу	Доставка Ремонт Допомога введення у експлуатацію Допомога при запуску	встановлює і проектує системи. До споживача доходить продукція з усіма необхідними компонентами.	збуту і домовленість про подальшу співпрацю
--	--	--	---	---

Таблиця 5.23 – 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.	Орієнтована на швидке та ефективне спілкування, бажано спеціалізоване	Спілкування як онлайн (сайти, соц.мережі) так і офлайн (зустрічі, телефонні розмови, виставки тощо). Друкована продукція (каталоги, спецвидання). Документальне	Якість залежить від ціни; Тривале партнерство = лояльні ціни; Вчасно, ефективно і економно.	Ефективна демонстрація переваг продукції залежно від напрямку зацікавленості клієнта	Офіційний стиль. Наочна демонстрація даних (розрахунки, графіки, діаграм

		оформлення домовленостей			и). Призна чення зустріч ей.
--	--	-----------------------------	--	--	--

## ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської дисертації було розглянуто технологічний процес коксування залишків з нафти. Тема роботи: « Система керування технологічного процесу коксування залишків з нафти »

Для двошкамерної печі було створено математичну модель. Для двошкамерної печі синтезовано одноконтурну систему керування з ПІД-регулятором.

Система із нечітким регулятором не дає перерегулювання, хоч і виходить на усталений рівень довше в порівнянні з ПІД – регулятором

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи хімії і фізики горючих копалин. В. І. Саранчук, М. О. Ільяшов, В. В. Ошовський, В. С. Білецький. — Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. — с. 600. ISBN 978-966-317-024-4
2. Вяхірев І. І. Двокамерна піч у процесі уповільненого коксування як технологічний об'єкт керування [Текст] / І. І. Вяхірев, З. Я. Козаневич // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології : Тези доповідей Десятої науково-практичної конференції студентів; Київ, 8-9 грудня 2016 р. – К.: КПІ ім. І. Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2016. – 92 с.: іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – С. 59–60.
3. Жученко О. А. Метод спрощення математичних моделей об'єктів керування із розподіленими параметрами / О. А. Жученко, В. С. Цапар // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. - 2015. - Vol. 7, No 1. - С. 18 – 27.
4. Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології [Текст]: Матеріали Четвертої Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів (АКІТ-2017); Київ, 19–20 квітня 2017 р. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 204 с. : іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – 60 пр. ISBN 978-966-622-826-3 - 118 с
5. Основи тепломасообміну [Текст]: підручник / С. М. Василенко, В. В. Ольшевський, В. Р. Кулінченко, В. Г. Мирончук. – К.: НУХТ , 2004. – 250 с. – Бібліогр.: с. 237. – 150 пр.
6. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии [Текст]: Учебник для вузов/ А. И. Скобло, Ю. К. Молоканов, А. И. Владимиров, В. А. Щелкунов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 677 с. – Библиогр.: с.329

7. Технология оборудование процессов переработки нефти и газа. Учебное пособие [Текст] / С. А. Ахметов, Т. П. Сериков, И. Р. Кузеев, М. И. Баязитов. – СПб.: Недра, 2006. – 868 с. – Библиогр.: с.470
8. Лукінюк М. В., Технологічні вимірювання та прилади: Навч. посіб. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2007. – 336 с.
9. Лукінюк М. В., Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об’єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп’ют.-інтегр. технології» – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с.
10. Остапенко Ю.О., Ідентифікація та моделювання технологічних об’єктів керування: Підручник для студентів вищих закладів освіти, що навчаються за напрямом «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології». – К.: Задруга, 1999. – 424 с.
11. Жученко А.І., Кваско М.З., Кубрак Н.А. Ідентифікація динамічних характеристик. Комп’ютерні методи. - К.: Вид. відд. КЛТКМ та М., 2001.-144 с.