

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: Автоматизація конденсатора-холодильника у процесі стабілізації крекінг-бензину _____

Виконав: студент 6 курсу, групи ЛА-71мп
(шифр групи)

_____ Вяхірев Андрій Ігорович _____
(прізвище, ім’я, по батькові) (підпис)

Керівник _____ ст. викл. Лукінюк М. В _____
(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 Андрію Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації *Автоматизація конденсатора-холодильника у процесі стабілізації крекінг-бензину* _____

науковий керівник дисертації _____ ст. викл. Лукінюк М. В. _____,
(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 стабілізації крекінг-бензину* _____

4. Вихідні дані *Температура газової фракції на вході – 177°C; температура дистилляту на виході – 60°C; витрата дистилляту – 0,115 кг/с; витрата води – 0,225 кг/с.* _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити *опис технологічного процесу стабілізації крекінг-бензину; технологічний процес стабілізації крекінг-бензину як об'єкт автоматизації; побудова та дослідження спрощеної математичної моделі процесу конденсації; створення системи керування у процесі стабілізації крекінг-бензину, розробка «розумного» шару керування процесом отримання стабільного бензину за допомогою Hyperledger Fabric; 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 А. І. Постановка задачі автоматизації колони стабілізації у виробництві крекінг-бензину [Текст] / А. І. Вяхірев, М. В. Лукінюк // 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. 192. – Бібліогр.: в кінці тез. – С. 192. – 60 пр. – ISBN 978-966-622-826-3.

Вяхірев А. І. Використання приватного блокчейну та smart-контрактів для розробки «розумного» шару керування процесом [Текст] / А. І. Вяхірев, М. В. Лукінюк // Тези доповідей Дванадцятої науково-практичної конференції студентів. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 05–06 грудня 2018 р. [Електронний ресурс]. – 90 с. : іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – С. 9–11. – Режим доступу: [http://ahv.kpi.ua/conferences/ACIT-2018\(winter\).pdf](http://ahv.kpi.ua/conferences/ACIT-2018(winter).pdf) – вільний.

8. Консультанти розділів дисертації*

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

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

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 стабілізації крекінг-бензину. Формулювання задачі автоматизації процесу.	08.11.18	
2	Розробка математичної моделі конденсатора-холодильника у процесі стабілізації крекінг-бензину	14.11.18	
3	Дослідження системи керування температурним режимом у конденсаторі-холодильнику	22.11.18	
4	Розробка «розумного» шару керування процесом отримання стабільного бензину за допомогою Hyperledger Fabric	28.11.18	
6	Підготовка матеріалів з результатами досліджень до публікації тез доповідей та участі у конференції	03.12.18	
7	Розробка стартап-проекту «Керування процесом за допомогою smart-контрактів Hyperledger Fabric»	06.12.18	
8	Обробка та узагальнення результатів дослідження процесу стабілізації крекінг-бензину. Оформлення пояснювальної записки	08.12.18	
9	Підготовка матеріалів з результатами досліджень процесу стабілізації крекінг-бензину. Підготовка слайдів для PowerPoint презентації	10.12.18	

Студент

(підпис)

А.І. Вяхірев
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

М.В. Лукінюк
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація присвячена розв'язанню задачі керування процесом охолодження у конденсаторі-холодильнику у процесі стабілізації крекінг-бензину.

У роботі досліджено конденсатор-холодильник як технологічний об'єкт керування, розроблено математичну модель процесу охолодження, розроблено експертну систему діагностування аварійних ситуацій, розроблено системи керування технологічним процесом охолодження.

За результатами досліджень теми магістерської дисертації опубліковано 1 тезисну доповідь на конференції.

Пояснювальна записка до магістерської дисертації має обсяг 119 сторінки та містить 34 рисунок, 18 таблиць, 20 літературних джерела.

Результати роботи можуть бути використані та впроваджені в системах керування процесом стабілізації крекінг-бензину. Розроблений «розумний» шар керування процесом отримання стабільного бензину за допомогою Hyperledger fabric може бути використаний на будь-якому технологічному підприємстві України, Європи та світу. Я продовжую вивчення та розробку цього продукту для подальшого його впровадження на підприємствах.

Ключові слова: система керування, колона стабілізації, конденсація, конденстар-холодильник, регулятор, об'єкт керування, математична модель, канал збурення, канал керування, нечіткий регулятор, блокчейн, smart-контракти, Hyperledger, стартап.

ABSTRACTS

The master's dissertation is devoted to solving the problem of developing a control system for the cooling process in the condenser-refrigerator in the process of stabilizing cracking gasoline.

In work the condenser-refrigerator is investigated as a technological control object, developed a mathematical model of the cooling process, 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 119 pages and contains 34 pictures, 18 tables, 20 literary sources.

The results of the work can be used and implemented in the control systems of the cracking-gasoline stabilization process. The developed "smart" layer of management of the process of obtaining stable gasoline with the help of Hyperledger fabric can be used at any technological enterprise of Ukraine, Europe and the world. I continue to study and develop this product for further implementation at the enterprises.

Keywords: control system, stabilization column, condensation, condenser-refrigerator, regulator, control object, mathematical model, channel of perturbation, control channel, fuzzy controller, blockade, smart-contracts, Hyperladger, startup.

ЗМІСТ

Вступ	10
1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС СТАБІЛІЗАЦІЇ КРЕКІНГ-БЕНЗИНУ, ЯК ОБ’ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	11
1.1. Термічний крекінг	11
1.2. Опис технологічного процесу стабілізації крекінг-бензину.....	14
1.3. Обґрунтування розробки для нової схеми автоматизації технологічного процесу стабілізації крекінг-бензину.....	17
1.4. Аналіз технологічного процесу стабілізації крекінг-бензину як об’єкта автоматизації	Ошибка! Закладка не определена.
2. ОПИС РОЗРОБЛЕНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ СТАБІЛІЗАЦІЇ КРЕКІНГ-БЕНЗИНУ	20
2.1. Автоматизація — невід’ємна частина виробництва	20
2.2. Автоматичний контроль	21
2.3. Автоматичне регулювання	21
2.4. Сигналізація, блокування, захист	22
2.5. Дистанційне керування.....	23
2.6. Принципова електрична схема управління та аварійного захисту електродвигунів	24
2.7. Опис розробленої схеми	25
3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОНДЕНСАТОР-ХОЛОДИЛЬНИКА.....	28
3.1. Моделювання статичного режиму роботи конденсатор-холодильника.....	28
3.2. Моделювання динамічного режиму конденсатор-холодильника	35
3.3. Розробка оптимальної системи керування	40
4. СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	43
4.1. Обґрунтування вибору типу регулятора	43
4.2. Розрахунок та настройка системи з ПІД-регулятором	46
4.3. Обґрунтування та типові сценарії використання нечіткої логіки в системах керування	53

4.4. Розрахунок та дослідження системи керування температурним режимом у холодильника з нечітким регулятором	55
--	----

5. ОПТИМІЗАЦІЯ КОНДЕНСАТОРА-ХОЛОДИЛЬНИКА 65

6. ВИКОРИСТАННЯ ПРИВАТНОГО БЛОКЧЕЙНУ ТА SMART-КОНТРАКТІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ «РОЗУМНОГО» ШАРУ

КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СТАБІЛІЗАЦІЇ КРЕКІНГ-БЕНЗИНУ

..... Ошибка! Закладка не определена.

6.1. Що таке блокчейн?	Ошибка! Закладка не определена.
6.2. Публічні блокчейни	Ошибка! Закладка не определена.
6.3. Приватні блокчейни	Ошибка! Закладка не определена.
6.4. Блокчейн для бізнесу	Ошибка! Закладка не определена.
6.5. Цілі і завдання Hyperledger	Ошибка! Закладка не определена.
6.6. Офіційні цілі та завдання Hyperledger	Ошибка! Закладка не определена.
6.7. Проекти під «парасолькою» Hyperledger	60
6.8. Інструменти Hyperledger	62
6.9. Компанії, які використовують приватний блокчейн	63
6.9.1. TradeLens	Ошибка! Закладка не определена.
6.9.2. IBM Food Trust	Ошибка! Закладка не определена.
6.9.3. Everledger	Ошибка! Закладка не определена.
6.9.4. Provenance	Ошибка! Закладка не определена.
6.9.5. Yojee	Ошибка! Закладка не определена.
6.10. Розробка «розумного» шару керування процесом отримання стабільного бензину за допомогою Hyperledger fabric	69

7. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ 93

ВИСНОВКИ

105

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

106

Перелік умовних позначень та скорочень

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом;

ТОК – технологічний об'єкт керування;

ОК – об'єкт керування;

ТП – технологічний процес;

ПІД – пропорційно-інтегрально диференціальний;

НчАСК – нечітка автоматична система керування;

АГФУ – абсорбційно-газофракційна установка;

мод. – модель;

поз. – позиція;

рис. – рисунок;

HLF – Hyperledger Fabric;

С – теплоємність;

F – витрата;

- k – коефіцієнт тепловіддачі;
- K_p – коефіцієнт підсилення регулятора;
- T, t – температура/ час;
- T_i – час ізодрому;
- S – площа поверхні;
- Q – кількість тепла.

ВСТУП

Дана магістерська дисертація присвячена вивченню процесу стабілізації крекінг-бензину.

Термічний крекінг - один з найважливіших процесів, що забезпечують глибоку переробку нафти. Основна перевага процесу - велика експлуатаційна гнучкість: можливість переробляти різні нафтові фракції з отриманням високооктанового бензину і газу, багатого пропиленом та ізобутаном; порівняна легкість сполучення з іншими процесами, наприклад, з гідрокрекінгом, гідроочищенням, адсорбційним очищенням. Такою універсальністю пояснюється досить значна частка термічного крекінгу в загальному обсязі переробки нафти. Саме тому на світовому ринку викликає необхідність будівництва нових крекінг установок для стабілізації бензину і реконструкції та модернізації діючих з метою підвищення їх продуктивності.

Термічний крекінг, високотемпературна переробка нафти і її фракцій з метою отримання, як правило, продуктів меншою молекулярної маси легких моторних і котельних палив, ненасичених вуглеводнів, високо-ароматизованої сировини, коксу нафтового.

Метою та новизною даної магістерської дисертації виступає синтез оптимальної системи керування конденсатором-холодильником у процесі стабілізації крекінг-бензину та розробка «розумного» шару керування процесом отримання стабільного бензину за допомогою приватного блокчейну Hyperledger fabric.

1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС СТАБІЛІЗАЦІЇ КРЕКІНГ-БЕНЗИНУ, ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Термічний крекінг

На установках каталітичного риформінгу отримують багато цінних ароматичних вуглеводнів: бензол, толуол, ксилол. Всі вони служать сировиною для виробництва різних хімічних продуктів.

Застосування крекінг-установок для переробки нафти почалося тридцять-сорок років тому. Але за короткий термін в цій галузі техніки досягнуті дуже великі успіхи. Використовуючи високі температури, великі тиску і різні каталізатори, хіміки навчилися з одних вуглеводнів отримувати інші, змінювати будову їх молекул, не тільки розщеплювати молекули, але і з'єднувати їх в молекули-гіганти, з величезним числом атомів вуглецю і водню

в кожній. Все це дозволило отримувати з нафти безліч найрізноманітніших продуктів. Ось, наприклад, автомобільні шини. Вони виготовляються з синтетичного каучуку. А сировиною для виготовлення каучуку служать такі вуглеводні, як бутан, бутилен, бензол і продукт переробки етилену - етиловий спирт.

Крекінг-установка складається з трубчастої печі, реактора, в якому розщеплюються молекули, колони, де розділяються продукти розщеплення, і насосів. Зовні крекінг-установка нагадує установку для перегонки нафти. Насоси під великим тиском прокачують мазут через трубчасту піч. Він нагрівається до потрібної температури і під тиском 40-50 атм надходить в реактор. Тут і відбувається крекінг, т. Е. Розщеплення молекул вуглеводнів. Отримані при цьому нові вуглеводні випаровуються в випарнику і надходять в колону для поділу по фракціях - так само, як і при перегонці.

При термічному крекінгу з 1 Т мазуту отримують близько 100 кг бензину і до 800 кг важкого продукту - керосино-соляровим фракції. Її зазвичай знову піддають крекінгу, щоб отримати більше бензину. В результаті кожна тонна цієї фракції дає додатково близько 500 кг бензину. При термічному крекінгу легшого продукту перегонки - лігроїна можна отримати з кожної його тонни понад 700 кг високоякісного бензину.

Застосовується також крекінг керосино-газойльових фракцій перегонки нафти при великій температурі - близько 700 ° - і майже атмосферному тиску. Він називається піролізом. При піролізі великі і важкі молекули вуглеводнів спочатку розщеплюються на більш легкі, з меншою кількістю атомів вуглецю в кожній. А потім під впливом високої температури вони з'єднуються між собою і утворюють нові вуглеводні, в яких атоми вуглецю з'єднані в замкнутий ланцюг: виходять бензол, толуол і т. Д. Це так звані ароматичні вуглеводні, які

є цінним хімічним сировиною. Бензол, наприклад, застосовують для виготовлення барвників, вибухових речовин, ліків, фотографічних препаратів. Якщо його обробити сірчаної та азотної кислотами, то вийде нітробензол - рідина з запахом гіркої мигдалю. З нього отримують анілін, який служить основою для виготовлення барвників і лікарських речовин - білого стрептоциду, сульфідину, норсульфазола. При піролізі утворюється і дуже багато газоподібних вуглеводнів, які також служать сировиною для отримання різних продуктів.

Існує ще один, більш досконалий спосіб отримання легких вуглеводнів і високоякісного бензину. Це каталітичний крекінг, що проходить в присутності каталізатора. В якості каталізатора використовують глину, яка містить окису алюмінію і кремнію. Якщо піддати каталітичного крекінгу керосино-газойлевої фракції перегонки нафти, то з кожної тонни її можна отримати близько 300 кг авіаційного бензину або близько 450 кг високоякісного автомобільного бензину. Гасо-газойлевої фракцію нагрівають в трубчастій печі до 450° і подають насосами в реактор. Якщо при термічному крекінгу потрібно створити великий тиск, то при каталітичному достатньо всього близько 3 атм. Пари вуглеводнів піднімаються в реакторі вгору, а назустріч їм опускається у вигляді дрібних кульок каталізатор. Під його впливом молекули вуглеводнів розщеплюються. Вихідна з реактора суміш парів вуглеводнів надходить в колону ректифікації і розділяється на окремі фракції. Гази, які утворюються при цьому, містять багато цінних вуглеводнів - бутан, бутилен і т. п. Для сучасних потужних автомобільних і авіаційних двигунів внутрішнього згорання потрібно багато високоякісного бензину. Отримують його обробкою при високих температурах і під тиском бензино-лігроїнових фракцій - продуктів

прямої перегонки. Цей метод називається риформингом. При цьому молекули вуглеводнів в основному не розщеплюються, а перетворюються.

Особливо важливе значення в нафтопереробці придбав каталітичний риформінг. Він дозволяє отримувати високоякісного бензину на 5-10% більше, ніж при термічному риформінгу. При каталітичному риформінгу сировину (бензино-лігроїнових фракцію) нагрівають в трубчастій печі до 440-520 ° н під тиском 2-10 атм подають в реакційну камеру, в якій знаходиться каталізатор. Звідси продукти реакції надходять у колону ректифікації, де розділяються.

На установках каталітичного риформінгу отримують багато цінних ароматичних вуглеводнів: бензол, толуол, ксилол. Всі вони служать сировиною для виробництва різних хімічних продуктів.

Застосування крекінг-установок для переробки нафти почалося тридцять-сорок років тому. Але за короткий термін в цій галузі техніки досягнуті дуже великі успіхи. Використовуючи високі температури, великі тиску і різні каталізатори, хіміки навчилися з одних вуглеводнів отримувати інші, змінювати будову їх молекул, не тільки розщеплювати молекули, але і з'єднувати їх в молекули-гіганти, з величезним числом атомів вуглецю і водню в кожній. Все це дозволило отримувати з нафти безліч найрізноманітніших продуктів. Ось, наприклад, автомобільні шини. Вони виготовляються з синтетичного каучуку. А сировиною для виготовлення каучуку служать такі вуглеводні, як бутан, бутилен, бензол і продукт переробки етилену - етиловий спирт.

1.2 Опис технологічного процесу стабілізації крекінг-бензину

Бензиновий дистиллят, отриманий на установках термічного крекінгу, фізично і хімічно нестабільний. Він містить у розчиненому стані леткі за звичайних умов вуглеводні – етилен, етан, пропан, пропілен і бутан-бутилен. Зберігання такого бензину в резервуарах призводить до втрат летких компонентів, а разом з ними і більш висококиплячих фракцій. Тому нестабільний бензин піддається фізичній стабілізації, тобто видаленню з нього летких фракцій ректифікацією під тиском 10 ат.

Нестабільний бензин з газосепаратора 1 насосом 2 (рис. 1.1) прокачується через теплообмінник 3, де нагрівається гарячим стабільним бензином, і надходить у стабілізатор 4. Низ стабілізатора обігрівається кип'ятильником 5. З верху колони відходять леткі компоненти, значна частина яких конденсується в конденсаторі-холодильнику 6 і надходить в резервуар 7. Колона зрошується конденсатом з ємності 7, а надлишок конденсату відводиться на абсорбційно-газофракційну установку(АГФУ) [2].

Режим процесу стабілізації залежить від вимог, які пред'являються до тиску насичених парів стабільного бензину.

При крекінгу мазуту сірчисті з'єднання, які містяться у ньому розкладаються. Значна частка їх у вигляді сірководню переходить у крекінг-газ, частина у вигляді високомолекулярних сірчистих сполук залишається в крекінг-залишку.

Велика кількість сірчистих сполук міститься і в бензині. Для видалення сірчистих сполук стабільний бензин піддається лужному промиванню. Вміст сірки в товарному автомобільному бензині за нормами має бути не вище 0,15 %. Незалежно від вмісту сірки корозійні властивості автомобільного бензину випробовуються за зміною кольору мідної пластинки.

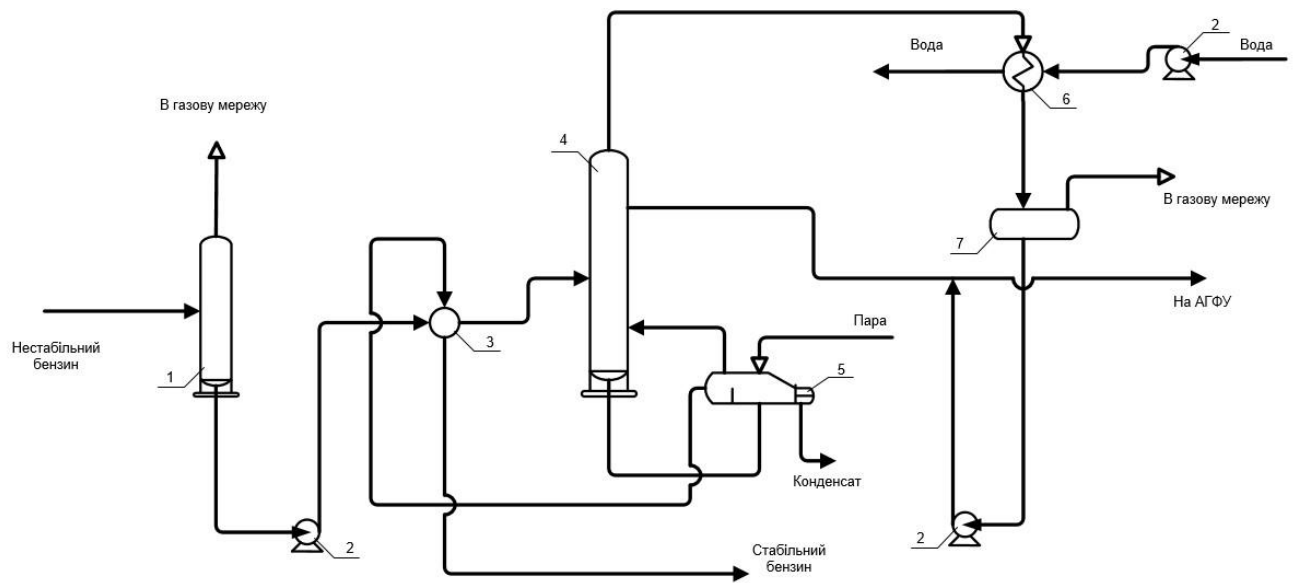


Рис. 1.1 – Технологічна схема процесу стабілізації крекінг-бензину:

1 – газосепаратор; 2 – насос; 3 – теплообмінник; 4 – колона стабілізації; 5 – кип'ятильник;
6 – конденсатор-холодильник; 7 – резервуар

У крекінг-бензині міститься 10...15 % ароматичних вуглеводнів, 30...35 % ненасичених вуглеводнів, 5...10 % нафтових, 40...45 % парафінових. Наявність ненасичених вуглеводнів робить крекінг-бензин хімічно нестабільним, оскільки ці вуглеводні легко окислюються і утворюють смоли.

Для запобігання осмолению крекінг-бензину при зберіганні в резервуарах його піддають хімічній стабілізації, додаючи інгібітори. Як антиокислювачі застосовують фракції деревної смоли та синтетичні продукти типу фенолів, наприклад, *p*-оксидифеніламін.

Хімічну стабільність автомобільного бензину контролюють індукційним періодом, тобто за часом окислення бензину киснем за температури 100 °С. Індукційний період у залежності від марки автомобільного бензину повинен бути не менше 360 і 480 хв.

Крекінг-залишок, одержуваний при термічному крекінгу, є готовим котельним паливом. Залежно від ступеня відбору з нього в випарнику низького тиску солярових фракцій отримують крекінг-залишок з різною в'язкістю, яка визначає приналежність крекінг-залишку до тієї або іншої марки котельного палива. В основному виробляються крекінг-мазути марок 80 і 100 з умовною в'язкістю за температури 80 °С в межах 11...13 для марки 80 і для марки 100 – в межах 13...15,5.

Крекінг-залишок застосовується також, як сировина на установках коксування.

У зв'язку з розвитком нафтохімії різко зростає потреба в олефінових вуглеводнях, які в значній кількості містяться в газах термічного крекінгу. Тому крекінг-газ є цінним джерелом сировини для органічного синтезу. З крекінг-газу на газофракційних установках добувають етан-етиленову, пропан-пропіленову і бутан-бутиленову фракції, які широко використовуються в хімічній промисловості [2].

1.3 Обґрунтування розробки для нової схеми автоматизації технологічного процесу стабілізації крекінг-бензину

Технологічний процес отримання стабільного бензину реалізований на підприємствах і, безумовно, автоматизований. Але через неможливість потрапити на таке виробництво і відсутність інформації у відкритих джерелах про схеми автоматизації технологічного процесу стабілізації крекінг-бензину, було поставлено задачу розробити схему автоматизації на основі технологічної схеми процесу із використанням сучасних технічних засобів автоматизації.

Новітні системи автоматичного керування розробляються на основі різноманітних мікроконтролерів, мікропроцесорних приладів і регуляторів. На кафедрі автоматизації хімічних виробництв спроектована і змонтована комп'ютерна мікропроцесорна система, яка оснащена мікропроцесорними приладами та регуляторами і використовується в навчальному процесі підготовки студентів.

1.4 Аналіз технологічного процесу стабілізації крекінг-бензину як об'єкта автоматизації

На підставі аналізу особливостей технологічного процесу стабілізації крекінг-бензину, його апаратурного оформлення та норм технологічного режиму необхідно забезпечити такий рівень автоматизації виробництва:

- контроль і регулювання витрати нестабільного бензину у трубопроводі, а також його температури в газосепараторі (30 °C);
- контроль і регулювання температури нестабільного бензину у теплообміннику (80 °C);
- контроль, регулювання та сигналізацію температури у колоні стабілізації, що становить 177 °C;
- контроль і регулювання температури пари на виході з кип'ятильника (102 °C);
- контроль і регулювання температури продукту дистиляції на виході з конденсатор-холодильника (60 °C).

Слід також передбачити дистанційне керування електромоторами, блокування.

Параметри контролю та регулювання виробництва наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри контролю та керування виробництвом

№	Назва стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Назва контрольованого чи регульованого параметра	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до рівня автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	2	3	4	5
1	Трубопровід нестабільного бензину	Витрата	9,2...10,8 м ³ /год	контроль, регулювання
2	Газосепаратор	Температура	30 °С	контроль, регулювання
3	Теплообмінник	Температура	80 °С	контроль, регулювання
4	Колона стабілізації	Температура	177 °С	контроль, регулювання, сигналізація
5	Кип'ятильник	Температура	102 °С	контроль, регулювання
6	Конденсатор-холодильник	Температура	60 °С	контроль, регулювання
7	Трубопровід стабільного бензину	Витрата	–	Контроль
8	Трубопровід води для конденсатор-холодильника	Витрата	0,81 м ³ /год	Контроль

2. ОПИС РОЗРОБЛЕНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ СТАБІЛІЗАЦІЇ КРЕКІНГ-БЕНЗИНУ

2.1 Автоматизація як невід’ємна частина виробництва

Автоматизація виробничих процесів — один з найважливіших напрямків технічного прогресу всіх галузей народного господарства нашої країни. У цей час засоби автоматики широко використовуються в різних сферах діяльності людини.

Автоматизацією називається галузь науки й техніки, що охоплює теорію й принципи побудови систем керування, а також сукупність технічних засобів для їхньої реалізації. Під автоматизацією мається на увазі комплекс організаційно-технічних заходів, що приводить до зменшення або повного виключення участі людини в здійсненні виробничого процесу [3].

Метою даної роботи було розробити систему автоматизації процесу стабілізації крекінг-бензину на основі опису процесу та технологічних параметрів для досягнення ефективного функціонування апаратів та забезпечення автоматизованого управління процесом, а також для запобігання можливого виникнення аварійних ситуацій у ході процесу, для чого в схемі автоматизації буде запропоновано систему аварійного захисту та технологічних блокувань.

Схема автоматизації технологічного процесу стабілізації крекінг-бензину включає в себе системи технологічного контролю, регулювання, сигналізації та захисту за технологічними параметрами, системи дистанційного керування виконавчими механізмами.

Призначення системи автоматичного регулювання полягає в забезпеченні стабілізації якості процесу крекінг-бензину й зниження витрати вихідних продуктів при заданій продуктивності. Інакше кажучи, ця система призначена для підтримки параметрів в різних апаратах процесу.

2.2 Автоматичний контроль

У процесі стабілізації крекінг-бензину необхідно забезпечувати автоматичний контроль технологічних параметрів таких, як температура в різних точках процесу, витрати та тиску на апаратах.

Контроль необхідно забезпечувати з метою отримання продукту необхідної якості, контрольовані параметри обов'язково повинні бути в межах встановленого технологічного регламенту процесу.

Враховуючи особливості технологічного процесу стабілізації крекінг-бензину слід забезпечити автоматичний контроль таких параметрів:

- витрату сировини на вході у газосепаратор,
- витрату сировини на вході у теплообмінник,
- температуру сировини на вході у колону стабілізації,
- витрату сировини на входу у кип'ятильник,
- витрату сировини на вході у конденсатор-холодильник
- температуру пари у колоні стібілізації
- тиск у колоні стабілізації
- витрату конденсату на виході з резервуару.

2.3 Автоматичне регулювання

Для того, щоб підтримувати задане у технологічному регламенті значення параметрів для процесу були розроблені контури для регулювання таких технологічних параметрів:

- витрату у трубопроводі перед газосепаратором,
- витрату у трубопроводі перед теплообмінником,
- температуру пари перед кип'ятильником,
- витрату у трубопроводі перед колоною стабілізації,
- витрату у трубопроводі після колони стабілізації,
- температуру суміші після конденсатор-холодильника,
- витрату в трубопроводі після резервуару .

2.4 Сигналізація, блокування, захист

Сигналізація, блокування і захист являються надзвичайно важливими елементами в схемі автоматизації, адже захищають обладнання від поломок

внаслідок збоїв у процесі виробництва продукції, а також повідомляють оператору про відхилення від технологічного регламенту параметрів, які впливають на якість продукції, що випускається.

У схемі автоматизації реалізовано такі контури сигналізації:

- роботи і зупинки електричних двигунів М1...М3, що мають сигнальні лампочки HL3...HL8, одна з яких (зеленого кольору) сигналізує про роботу двигуна, а інша (червоного кольору) про його зупинку;
- сигналізацію межі тиску у колоні стабілізації HL1, HL2;

Система блокувань у процесі реалізована для того, щоб зупинити процес в разі поломки якогось обладнання, для того, щоб забезпечити вихід якісного продукту і подальшу дієздатність технологічного обладнання.

В схемі блокування реалізовано таким чином:

- після кожного насосу встановлено вимірювач тиску, якщо значення тиску занадто низьке, це може свідчити про зупинку, в такому випадку спрацьовують технологічні блокування, які зупиняють електродвигуни, що приводять в дію ці насоси. Це технологічні блокування 1 Тб...3 Тб для моторів М1...М3 відповідно.

Захист реалізовано для того, щоб запобігти поломці обладнання внаслідок збоїв у роботі.

Електричний захист реалізований таким чином:

- для кожного електродвигуна насосу реалізовано аварійний захист, який спрацьовує, коли тиск після насосу падає, що дозволяє зберегти робочим обладнання. Це механічний захист у вигляді шпонки і електричний, що реалізується впливом на магнітний пускач двигуна.

2.5 Дистанційне керування

Для дистанційного запуску електродвигунів насосів використовуються магнітні пускачі МП1...МП3, які керуються з щита керування кнопками SB1, SB3, SB5 — для увімкнення та SB2, SB4, SB6 - для вимкнення.

Сигнальні лампи HL3...HL8 — є індикаторами увімкнення або вимкнення двигуна.

Дистанційному керуванню підлягають:

- електропривод двигуна М1 (кнопка Н, SA1 на щиті),
- електропривод двигуна М2 (кнопка Н, SA2 на щиті),
- електропривод двигуна М3 (кнопка Н, SA3 на щиті).

2.6 Принципова електрична схема управління та аварійного захисту електродвигунів

При роботі відцентрових насосів дуже часто між корпусом насоса і крильчаткою потрапляють тверді частинки. У результаті цього крильчатка зупиняється і зупиняється електродвигун, який може вийти з ладу. У цьому випадку повинна спрацювати механічний захист: шпонка між крильчаткою і валом зрізається. При цьому починає наростати число обертів електродвигуна, так як відсутній протидіючий момент навантаження [4].

Тому повинен спрацювати електричний захист — електричний аварійний захист передбачає автоматичне відключення живлення електродвигуна при виході насоса з ладу.

При аварійній зупинці відцентрового насоса замикається контакт в приладі і утворюється замкнутий ланцюг живлення для електромагніту КМ1. Реле КМ1

спрацює, внаслідок чого перемикаються його контакти. Контакт КМ1-1 замикається і вмикається червона сигнальна лампочка НЛ3, яка вказує, що аварійне реле захисту спрацювало. Другий контакт аварійного реле КМ1-2 розмикається і розриває ланцюг живлення для електромагніту магнітного пускача МПЗ.

У результаті цього контакти МПЗ-4, МПЗ-5 розмикаються і живлення електродвигуна М1 при аварії вимикається.

Після проведення очищення та ремонту відцентрового насоса живлення електродвигуна М1 включається за допомогою кнопки SB1. Так як насос миттєво робочий тиск не набирає, кнопку SB1 потрібно утримувати натиснутою до тих пір, поки не згасне червона сигнальна лампочка НЛ5, якщо ця лампочка згасла, кнопку SB1 можна відпускати і ланцюг живлення електромагніту магнітного пускача МПЗ проходить через контакти МПЗ-1 і КМ1-2.

Принципова електрична схема управління та аварійного захисту електродвигунів наведено в схемі ЛА31.07.ДП.00.002.Сх.Ел.

На схемі показані схеми дистанційного управління електродвигунами з аварійним захистом для електромоторів. Всі ланцюги управління побудовані за типовим варіантом.

2.7 Опис розробленої схеми

До контурів автоматизації контролю входять контури контролю витрати, температури та тиску.

Для автоматизації контролю витрати нестабільного бензину в трубопроводі розроблено контур 1 — діафрагма камерна(1-1); дифманометр безшкальний(1-2); прилад вторинний, показувальний, реєструвальний(1-3);

регулятор пневматичний пропорціонально-інтегральний(1-4); пневматична панель керування(1-5); механізм виконавчий пневматичний пружинний прямої дії з позиціонером(1-6).

Для автоматизації контролю витрати нестабільного бензину в трубопроводі розроблено контур 2 — діафрагма камерна(2-1); дифманометр безшкальний(2-2); регулятор пневматичний пропорціонально-інтегральний(2-3); пневматична панель керування(2-4); механізм виконавчий пневматичний пружинний прямої дії з позиціонером(2-5).

Для автоматизації контролю температуру нестабільного бензину в трубопроводі розроблено контур 3 — термоперетворювач опору(3-1); автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад(3-2); регулятор мікропроцесорний(3-3); перетворювач електропневматичний(3-4); механізм виконавчий пневматичний пружинний прямої дії з позиціонером(3-5); позиціонер безконтактний з датчиком положення(3-6).

Для автоматизації контролю витрати стабільного бензину в трубопроводі розроблено контур 4 — діафрагма камерна(4-1); дифманометр безшкальний(4-2); регулятор пневматичний пропорціонально-інтегральний(4-3); пневматична панель керування(4-4); механізм виконавчий пневматичний пружинний прямої дії з позиціонером(4-5).

Для автоматизації контролю витрати летків елементів в трубопроводі розроблено контур 5 — діафрагма камерна(5-1); вимірювальний тензоперетворювач різниці тисків(5-2); автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад(5-3); пневматична панель керування(5-4); механізм виконавчий пневматичний пружинний прямої дії з позиціонером(5-5).

Для автоматизації контролю температури пари в трубопроводі розроблено контур 6 — термоперетворювач опору(6-1); автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад(6-2); регулятор мікропроцесорний(6-3); перетворювач електропневматичний(6-4); механізм виконавчий пневматичний пружинний прямої дії з позиціонером(6-5); позиціонер безконтактний з датчиком положення(6-6).

Для автоматизації контролю витрати конденсату з резервуара розроблено контур 7 — діафрагма камерна(7-1); дифманометр безшкальний(7-2); регулятор пневматичний пропорціонально-інтегральний(7-3); пневматична панель керування(7-4); механізм виконавчий пневматичний пружинний прямої дії з позиціонером(7-5).

Для автоматизації контролю температури конденсату в трубопроводі розроблено контур 8 — термоперетворювач опору(8-1); автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад(8-2); регулятор мікропроцесорний(8-3); перетворювач електропневматичний(8-4); механізм виконавчий пневматичний пружинний прямої дії з позиціонером(8-5); позиціонер безконтактний з датчиком положення(8-6).

Для автоматизації контролю тиску у колоні стабілізації розроблено контур 9 — вимірювальний тензоперетворювач надлишкового тиску(9-1); автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад із цифровою індикацією та неперервним записом на діаграмній стрічці (9-2).

Для автоматизації зміни тиску у колоні стабілізації розроблено контур 9 - HL1, HL2 - лампи електричні сигнальні жовтого кольору.

3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОНДЕНСАТОР-ХОЛОДИЛЬНИКА

3.1 Моделювання статичного режиму роботи конденсатор-холодильника

У трубчатому конденсатор-холодильнику відбувається охолодження суміші, що надходить із колони стабілізації.

Розрахункову схему конденсатор-холодильника з позначенням усіх технологічних параметрів наведено на рисунку 3.1.

На цій схемі позначені такі технологічні параметри:

$F_{\text{п}}$ – витрата сировини, яка надходить із колони стабілізації до конденсатор-холодильника;

$t_{\text{п}}$, $t_{\text{к}}$, $C_{\text{п}}$, $C_{\text{к}}$ – температура та теплоємність дистилата (вихідної речовини) на виході з конденсатор-холодильника;

$F_{\text{в3}}$, $C_{\text{в}}$ – витрата та теплоємність води, що надходить у конденсатор-холодильник;

$t_{\text{в31}}$ – температура води на вході в конденсатор-холодильник;

$t_{\text{в32}}$ – температура води на виході із конденсатор-холодильник.

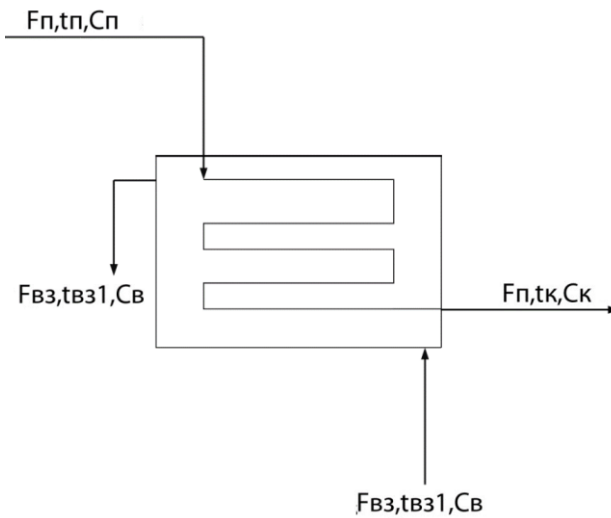


Рис. 3.1 – Розрахункова схема конденсатор-холодильника

Для моделювання статичного та динамічного режимів конденсатор-холодильник робимо такі припущення:

1. Об'єкт із зосередженими параметрами;
2. Витрата сировини на вході в конденсатор-холодильник не змінюється в часі;
3. Теплоємність сировини та водяної пари зі зміною температури залишається сталою.

Усі значення технологічних параметрів що використовуються у статичному моделюванні конденсатор-холодильник занесені до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення технологічних параметрів статичного режиму для конденсатор-холодильника

Назва	Позначення	Числове значення	Розмірність
Температура газу на вході	$t_{п}$	450	К
Температура дистилляту на виході	$t_{к}$	333	К
Температура	$t_{вз1}$	288	К

води на вході			
Витрата дистилляту	F_{Π}	0,115	кг/с
Витрата води	$F_{ВЗ}$	0,225	кг/с
Теплоємність дистилляту	C_{κ}	3200	Дж/(кг · К)
Теплоємність води	$C_{В}$	4200	Дж/(кг · К)
Коефіцієнт теплопередачі	K_3	0,0077	$\frac{\text{Кдж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{°К}}$
Площа поверхні	S_1	80	м

Оскільки температуру конденсату на виході з конденсатор-холодильника необхідно регулювати за подачею охолоджуючої води що подається в його міжтрубний простір, то для нашого конденсатор-холодильника розглядаємо такі входи та виходи [5]:

Вхід: $F_{ВЗ}$ – витрата води у конденсатор-холодильнику;

Вихід: t_{κ} – температура дистилляту на виході;

Збурення: $t_{ВЗ1}$ – температура води на вході;

F_{Π} – витрата дистилляту на виході.

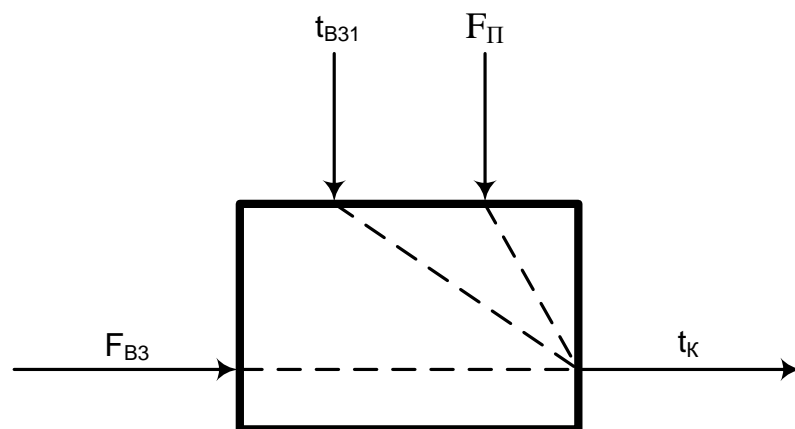


Рис. 3.2 – Структурно-параметрична схема зовнішнього конденсатор-холодильника
Тепловий баланс трубного простору:

$$Q_{\Pi} - Q_{\kappa} - Q_{\text{тоб3}} = 0,$$

де $Q_{\Pi} = F_{\Pi} i_{\Pi}$ – кількість тепла, яке приноситься дистиллятом; $Q_{\kappa} = F_{\Pi} t_{\kappa} C_{\kappa}$ – кількість тепла, яке виносить дистиллят; $Q_{\text{Тоб3}} = \alpha_3 S_3 (t_{\kappa} - t_{\text{В32}})$ – кількість тепла теплообміну, яке відбирається водою в міжтрубному просторі. Тут α_3 – коефіцієнт теплопередачі, S_3 – площа поверхні теплообміну.

Тепловий баланс води в міжтрубному просторі:

$$Q_{\text{В31}} + Q_{\text{Тоб3}} - Q_{\text{В32}} - Q_{\text{Нс3}} = 0,$$

де $Q_{\text{В31}} = F_{\text{В3}} t_{\text{В31}} C_{\text{В}}$ – кількість тепла, принесеного потоком води у між трубний простір конденсатор-холодильника; $Q_{\text{В32}} = F_{\text{В3}} t_{\text{В32}} C_{\text{В}}$ – кількість тепла, винесеного потоком води з міжтрубного простору конденсатор-холодильника; $Q_{\text{Нс3}} = 0,2Q_{\text{Тоб3}}$ – кількість тепла, яке втрачається з міжтрубного простору конденсатор-холодильника в навколишнє середовище [6].

Запишемо систему підставивши в кожному рівнянні усі величини:

$$\begin{cases} F_{\Pi} i_{\Pi} - F_{\Pi} t_{\kappa} C_{\kappa} - \alpha_3 S_3 (t_{\kappa} - t_{\text{В32}}) = 0; & (3.1) \\ F_{\text{В3}} t_{\text{В31}} C_{\text{В}} + \alpha_3 S_3 (t_{\kappa} - t_{\text{В32}}) - F_{\text{В3}} t_{\text{В32}} C_{\text{В}} - 0,2\alpha_3 S_3 (t_{\kappa} - t_{\text{В32}}) = 0 & (3.2) \end{cases}$$

Виражаємо з рівняння (4.6) температуру $t_{\text{В32}}$:

$$t_{\text{В32}} = \frac{F_{\text{В3}} t_{\text{В31}} C_{\text{В}} + 0,8\alpha_3 S_3 t_{\kappa}}{0,8\alpha_3 S_3 + F_{\text{В3}} C_{\text{В}}}$$

Підставляємо отриману температуру в (3.1):

$$F_{\Pi} i_{\Pi} - F_{\Pi} t_{\kappa} C_{\kappa} - \alpha_3 S_3 \left(t_{\kappa} - \frac{F_{\text{В3}} t_{\text{В31}} C_{\text{В}} + 0,8\alpha_3 S_3 t_{\kappa}}{0,8\alpha_3 S_3 + F_{\text{В3}} C_{\text{В}}} \right) = 0.$$

Виражаємо вихідну температуру конденсатор-холодильника:

$$t_{\kappa} = \frac{F_{\Pi} i_{\Pi} + \alpha_3 S_3 \frac{F_{\text{В3}} t_{\text{В31}} C_{\text{В}}}{0,8\alpha_3 S_3 + F_{\text{В3}} C_{\text{В}}}}{F_{\Pi} C_{\kappa} + \alpha_3 S_3 - \alpha_3 S_3 \frac{0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3}{0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3 + F_{\text{В3}} \cdot C_{\text{В}}}}$$

Статичні характеристики конденсатор-холодильника для робочого режиму навантаження, побудовані за допомогою програми MathCAD,

приведені на рисунках 3.3–3.6. Точки статичного режиму цих каналів можна побачити в таблицях 3.2–3.4.

Статичні характеристики та таблиці точок усіх каналів холодильника.

Таблиця 3.2 – Точки статичного режиму каналу $F_{в3} \rightarrow t_k$

Витрата води, $F_{в3}$, Кг/с	Температура дистиляту, t_k , °К
0.2	334.342
0.207	334.043
0.214	333.761
0.221	333.494
0.228	333.241
0.235	333
0.242	332.771
0.249	332.553
0.256	332.346
0.263	332.148
0.27	331.959

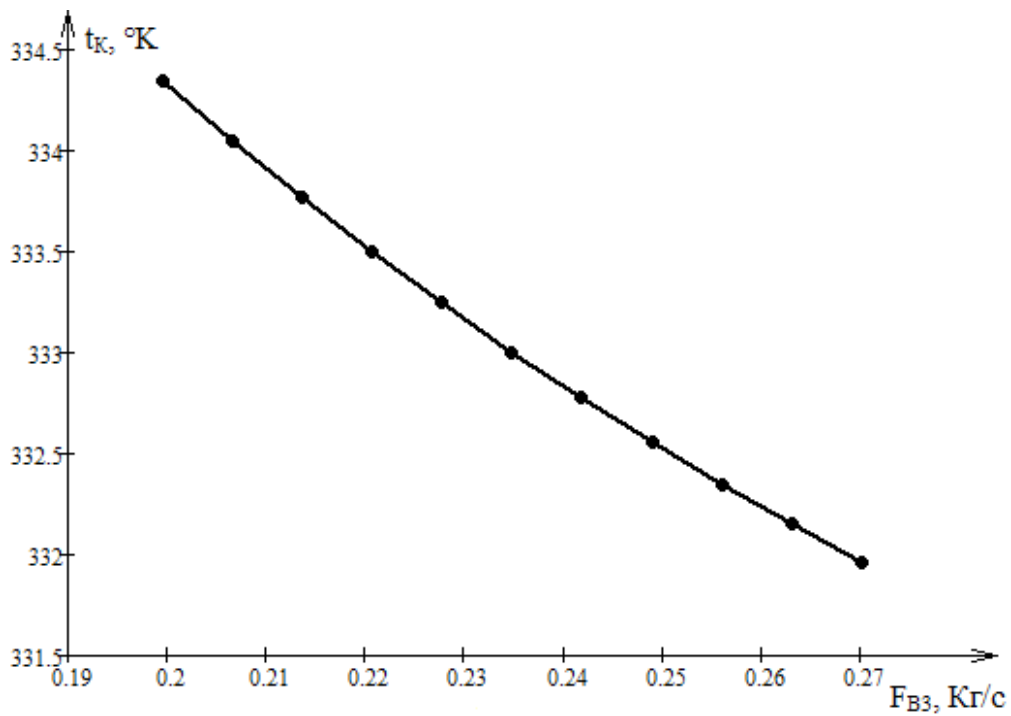


Рис. 3.3 – Статична характеристика каналу $F_{B3} \rightarrow t_k$

Коефіцієнт передачі каналу $F_{B3} \rightarrow t_k$, $K_{p17} = -33,82 \text{ } ^\circ\text{K}/(\text{Кг}/\text{с})$.

Таблиця 3.3 – Точки статичного режиму каналу $t_{B31} \rightarrow t_k$

Температура води, t_{B31} , °К	Температура дистиляту, t_k , °К
285.75	331.827
286.2	332.061
286.65	332.296
287.1	332.531
287.55	332.765
288	333
288.45	333.235
288.9	333.469
289.35	333.704
289.8	333.939

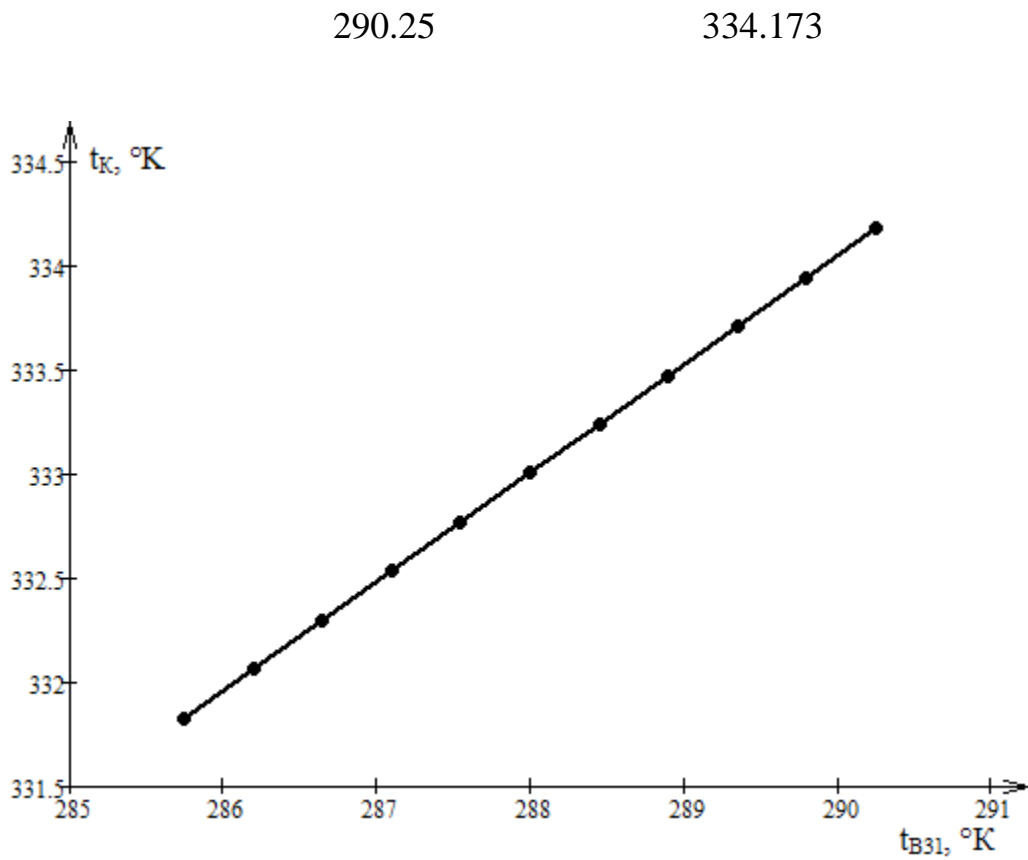


Рис. 3.4 – Статична характеристика каналу $t_{B31} \rightarrow t_K$

Коефіцієнт передачі каналу $t_{B31} \rightarrow t_K$, $K_{p18} = 0,521$.

Таблиця 3.4 – Точки статичного режиму каналу $F_{II} \rightarrow t_K$

Витрата дистилляту на вході, F_{II} , КГ/с	Температура
	дистилляту на виході, t_K , °К
0.102	329.208
0.106	330.012
0.109	330.793
0.113	331.55
0.116	332.286
0.12	333

0.124	333.694
0.127	334.369
0.131	335.025
0.134	335.663
0.138	336.284

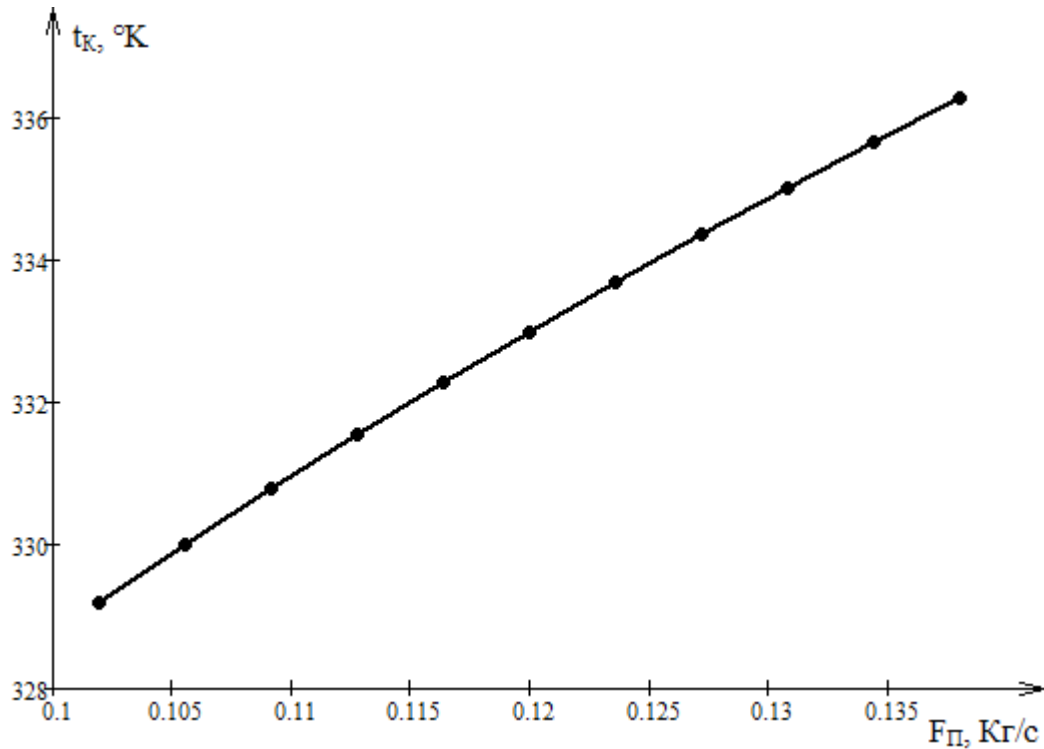


Рис. 3.5 – Статична характеристика каналу $F_{\Pi} \rightarrow t_k$

Коефіцієнт передачі каналу $F_{\Pi} \rightarrow t_k$, Кр19 = 196,576 °К/(Кг/с).

3.2 Моделювання динамічного режиму конденсатор-холодильника

При моделюванні динамічного режиму крім наведених в таблицях 3.2–3.4 використовуються також такі додаткові технологічні параметри:

Густина суміші (летючих компонентів):

Об'єм конденсату в трубному просторі теплообмінника:

$$V_{\text{кт}} = 0,750 \text{ м}^3$$

Об'єм води в міжтрубному просторі конденсатор-холодильника:

$$V_{\text{мт}} = 0,5 \text{ м}^3$$

Площа теплообміну в конденсатор-холодильнику

$$S_3 = 80 \text{ м}^2$$

Коефіцієнт теплопередачі від дистилляту в конденсатор-холодильнику до охолоджувальної води:

$$\alpha_3 = 0,0077 \frac{\text{Кдж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{°К}}$$

Рівняння динаміки для трубного простору:

$$F_{\text{пт}} \dot{t}_{\text{п}} - F_{\text{птк}} C_{\text{к}} - \alpha_3 S_3 (t_{\text{к}} - t_{\text{в32}}) = C_{\text{к}} V_{\text{кт}} \rho_{\text{к}} \frac{dt_{\text{к}}}{dt},$$

де $V_{\text{кт}}$ – об'єм конденсату в трубному просторі теплообмінника; $\rho_{\text{к}}$ – густина конденсату.

Аналіз розмірностей:

$$C_{\text{к}} V_{\text{кт}} \rho_{\text{к}} \frac{dt_{\text{к}}}{dt} = \left[\frac{\text{КДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right] \cdot [\text{м}^3] \cdot \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] \cdot \left[\frac{\text{К}}{\text{с}} \right] = \left[\frac{\text{КДж}}{\text{с}} \right]$$

Як бачимо, розмірність лівої та правої частини рівняння збігаються.

Рівняння динаміки для міжтрубного простору:

$$F_{\text{в3т}} t_{\text{в31}} C_{\text{в}} + 0,8 \alpha_3 S_3 (t_{\text{к}} - t_{\text{в32}}) - F_{\text{в3т}} t_{\text{в32}} C_{\text{в}} = C_{\text{в}} V_{\text{мт}} \rho_{\text{в}} \frac{dt_{\text{в32}}}{dt},$$

де $V_{\text{мт}}$ – об'єм води в міжтрубному просторі зовнішнього конденсатор-холодильника; $\rho_{\text{в}}$ – густина води.

Аналіз розмірностей:

$$C_{\text{в}} V_{\text{мт}} \rho_{\text{в}} \frac{dt_{\text{в32}}}{dt} = \left[\frac{\text{КДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right] \cdot [\text{м}^3] \cdot \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] \cdot \left[\frac{\text{К}}{\text{с}} \right] = \left[\frac{\text{КДж}}{\text{с}} \right]$$

Як бачимо, розмірність лівої та правої частини рівняння збігаються.

Лінеаризація рівняння динаміки для трубного простору:

$$i_{\Pi} \Delta F_{\Pi} - t_K C_K \Delta F_{\Pi} - F_{\Pi} C_K \Delta t_K - \alpha_3 S_3 (\Delta t_K - \Delta t_{B32}) = C_K V_{KT} \rho_K \frac{d\Delta t_K}{dt}.$$

Виконаємо перетворення за Лапласом:

$$C_K V_{KT} \rho_K p t_K(p) + F_{\Pi} C_K t_K(p) + \alpha_3 S_3 t_K(p) = i_{\Pi} F_{\Pi}(p) - t_K C_K F_{\Pi}(p) + \alpha_3 S_3 t_{B32}(p). \quad (3.3)$$

Лінеаризація рівняння динаміки для міжтрубного простору:

$$t_{B31} C_B \Delta F_{B3} + F_{B3} C_B \Delta t_{B31} + 0,8 \alpha_3 S_3 (\Delta t_K - \Delta t_{B32}) - t_{B32} C_B \Delta F_{B3} - F_{B3} C_B \Delta t_{B32} = C_B V_{MT} \rho_B \frac{d\Delta t_{B32}}{dt}$$

Виконаємо перетворення за Лапласом:

$$C_B V_{MT} \rho_B p t_{B32}(p) + F_{B3} C_B t_{B32}(p) + 0,8 \alpha_3 S_3 t_{B32}(p) = t_{B31} C_B F_{B3}(p) + F_{B3} C_B t_{B31}(p) + 0,8 \alpha_3 S_3 t_K(p) - t_{B32} C_B F_{B3}(p). \quad (3.4)$$

Виражаємо з рівняння (3.4) $t_{B32}(p)$:

$$t_{B32}(p) = \frac{t_{B31} \cdot C_B \cdot F_{B3}(p) + F_{B3} \cdot C_B \cdot t_{B31}(p) + 0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3 \cdot t_K(p) - t_{B32} \cdot C_B \cdot F_{B3}(p)}{C_B \cdot V_{MT} \cdot \rho_B \cdot p + F_{B3} \cdot C_B + 0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3}$$

Підставляємо $t_{B32}(p)$ в рівняння (3.3):

$$C_K \cdot V_{KT} \cdot \rho_K \cdot p \cdot t_K(p) + F_{\Pi} \cdot C_K \cdot t_K(p) + \alpha_3 \cdot S_3 \cdot t_K(p) = i_{\Pi} \cdot F_{\Pi}(p) - t_K \cdot C_K \cdot F_{\Pi}(p) + \alpha_3 \cdot S_3 \cdot \frac{t_{B31} \cdot C_B \cdot F_{B3}(p) + F_{B3} \cdot C_B \cdot t_{B31}(p) + 0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3 \cdot t_K(p) - t_{B32} \cdot C_B \cdot F_{B3}(p)}{C_B \cdot V_{MT} \cdot \rho_B \cdot p + F_{B3} \cdot C_B + 0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3}$$

Оскільки основним каналом керування є $F_{B3} \rightarrow t_K$, то далі розглядаємо рівняння динаміки саме для цього каналу. Спростуємо попереднє рівняння:

$$C_K \cdot V_{KT} \cdot \rho_K \cdot p \cdot t_K(p) + F_{\Pi} \cdot C_K \cdot t_K(p) + \alpha_3 \cdot S_3 \cdot t_K(p) = \alpha_3 \cdot S_3 \cdot \frac{t_{B31} \cdot C_B \cdot F_{B3}(p) + 0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3 \cdot t_K(p) - t_{B32} \cdot C_B \cdot F_{B3}(p)}{C_B \cdot V_{MT} \cdot \rho_B \cdot p + F_{B3} \cdot C_B + 0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3}$$

Виконаємо перетворення:

$$\begin{aligned} & C_K \cdot V_{KT} \cdot \rho_K \cdot C_B \cdot V_{MT} \cdot \rho_B \cdot p^2 \cdot t_K(p) + C_K \cdot V_{KT} \cdot \rho_K \cdot (F_{B3} \cdot C_B + \\ & + 0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3) \cdot p \cdot t_K(p) + (F_{II} \cdot C_K + \alpha_3 \cdot S_3) \cdot C_B \cdot V_{MT} \cdot \rho_B \cdot p \cdot t_K(p) + \\ & + (F_{II} \cdot C_K + \alpha_3 \cdot S_3) \cdot (F_{B3} \cdot C_B + 0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3) \cdot t_K(p) = \\ & = \alpha_3 \cdot S_3 \cdot (t_{B31} \cdot C_B - t_{B32} \cdot C_B) \cdot F_{B3}(p) + 0,8 \cdot \alpha_3^2 \cdot S_3^2 \cdot t_K(p); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & C_K \cdot V_{KT} \cdot \rho_K \cdot C_B \cdot V_{MT} \cdot \rho_B \cdot p^2 \cdot t_K(p) + [C_K \cdot V_{KT} \cdot \rho_K \cdot (F_{B3} \cdot C_B + 0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3) + \\ & + (F_{II} \cdot C_K + \alpha_3 \cdot S_3) \cdot C_B \cdot V_{MT} \cdot \rho_B] \cdot p \cdot t_K(p) + [(F_{II} \cdot C_K + \\ & + \alpha_3 \cdot S_3) \cdot (F_{B3} \cdot C_B + 0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3) - 0,8 \cdot \alpha_3^2 \cdot S_3^2] \cdot t_K(p) = \\ & = \alpha_3 \cdot S_3 \cdot (t_{B31} \cdot C_B - t_{B32} \cdot C_B) \cdot F_{32}(p). \end{aligned}$$

Зведемо до канонічної форми:

$$\begin{aligned} & \frac{C_K \cdot V_{KT} \cdot \rho_K \cdot C_B \cdot V_{MT} \cdot \rho_B}{(F_{II} \cdot C_K + \alpha_3 \cdot S_3) \cdot (F_{B3} \cdot C_B + 0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3) - 0,8 \cdot \alpha_3^2 \cdot S_3^2} \cdot p^2 \cdot t_K(p) + \\ & \frac{C_K \cdot V_{KT} \cdot \rho_K \cdot (F_{B3} \cdot C_B + 0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3) + (F_{II} \cdot C_K + \alpha_3 \cdot S_3) \cdot C_B \cdot V_{MT} \cdot \rho_B}{(F_{II} \cdot C_K + \alpha_3 \cdot S_3) \cdot (F_{B3} \cdot C_B + 0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3) - 0,8 \cdot \alpha_3^2 \cdot S_3^2} \cdot p \cdot t_K(p) + \\ & + t_K(p) \frac{\alpha_3 \cdot S_3 \cdot (t_{B31} \cdot C_B - t_{B32} \cdot C_B)}{(F_{II} \cdot C_K + \alpha_3 \cdot S_3) \cdot (F_{B3} \cdot C_B + 0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3) - 0,8 \cdot \alpha_3^2 \cdot S_3^2} \cdot F_{B3}(p) \\ = & \end{aligned}$$

Введемо позначення:

$$\begin{aligned} A_2 &= \frac{C_K \cdot V_{KT} \cdot \rho_K \cdot C_B \cdot V_{MT} \cdot \rho_B}{(F_{II} \cdot C_K + \alpha_3 \cdot S_3) \cdot (F_{B3} \cdot C_B + 0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3) - 0,8 \cdot \alpha_3^2 \cdot S_3^2} \\ A_3 &= \frac{C_K \cdot V_{KT} \cdot \rho_K \cdot (F_{B3} \cdot C_B + 0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3) + (F_{II} \cdot C_K + \alpha_3 \cdot S_3) \cdot C_B \cdot V_{MT} \cdot \rho_B}{(F_{II} \cdot C_K + \alpha_3 \cdot S_3) \cdot (F_{B3} \cdot C_B + 0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3) - 0,8 \cdot \alpha_3^2 \cdot S_3^2} \end{aligned}$$

$$= \frac{K_1 \cdot \alpha_3 \cdot S_3 \cdot (t_{B31} \cdot C_B - t_{B32} \cdot C_B)}{(F_{II} \cdot C_K + \alpha_3 \cdot S_3) \cdot (F_{B3} \cdot C_B + 0,8 \cdot \alpha_3 \cdot S_3) - 0,8 \cdot \alpha_3^2 \cdot S_3^2}$$

Маємо рівняння:

$$A_2 p^2 t_K(p) + A_3 p t_K(p) + t_K(p) = K_1 F_{B3}(p);$$

Передатна функція каналу $F_{B3} \rightarrow t_K$:

$$W_{F_{B3} \rightarrow t_K}(p) = \frac{t_K(p)}{F_{B3}(p)}$$

$$= \frac{W_{F_{B3} \rightarrow t_K}(p)}{A_2 p^2 + A_3 p + 1} = \frac{K_1}{A_2 p^2 + A_3 p + 1}$$

Числові значення:

$$A_2 = 5.33;$$

$$A_3 = 21.061;$$

$$K_1 = 33.82.$$

Перехідна характеристика каналу $F_{B3} \rightarrow t_K$ для робочого режиму конденсатора-холодильника, побудована в програмі Simulink, зображена на рисунку 3.6.

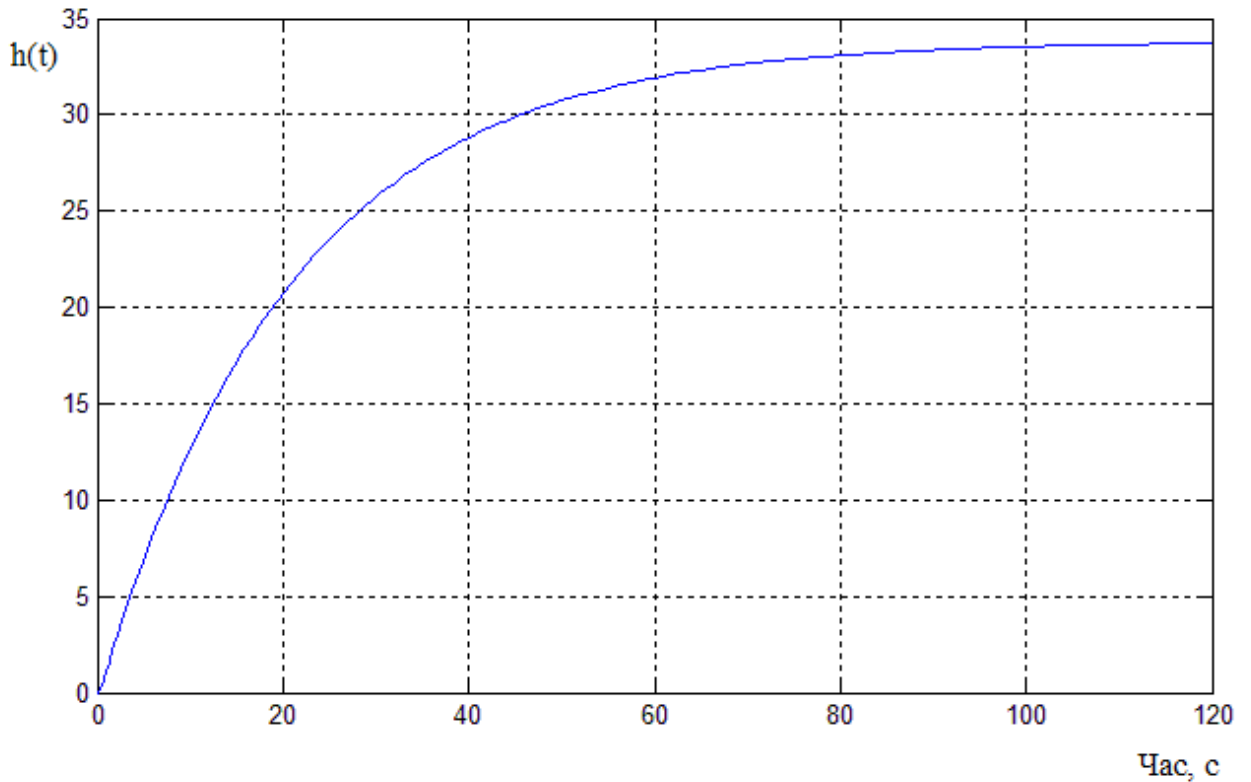


Рис. 3.6 - Перехідна характеристика каналу $F_{B3} \rightarrow t_k$

Процес стабілізації крекінг-бензину є складним процесом, який потребує постійного контролю і підтримання на заданому рівні його параметрів. Саме це є основною функцією автоматизованої системи управління технологічним процесом.

Передатна функція каналу $F_{B3} \rightarrow t_k$:

$$W_{F_{B3} \rightarrow t_k}(p) = \frac{t_k(p)}{F_{B3}(p)}$$

Зобразимо математичку модель об'єкту у вигляді передатної функції

$$W_{F_{B3} \rightarrow t_k}(p) = \frac{K_1}{A_2 p^2 + A_3 p + 1}$$

Підставимо у рівняння значення $K_1=33,82$; $A_2=5,33$; $A_3=21,061$.

$$W(p) = \frac{33,82}{5,33 \cdot p^2 + 21,061 \cdot p + 1}$$

3.3 Розробка оптимальної системи керування

Підтримання постійної температури дистилляту на виході з конденсатор-холодильника – наша задача. Отже, витрата охолоджуючої води повинна бути включена до критерію оптимальності. Наша модель лінійна. Тоді візьмемо квадратичний критерій, який необхідно мінімізувати помноживши його на вагові коефіцієнти:

$$J=1/2Q(t_k-t_{k_зад})^2+1/2F_{в3}^2R$$

Витрата охолоджувальної води знаходиться в межах :

$$F_{в3_min} < F_{в3} < F_{в3_max};$$

$$0,05 < F_{в3} < 0,4.$$

Маючи статичну модель, критерій оптимальності і обмеження, перетворимо задачу умовної оптимізації в безумовну:

$$L=1/2Q(t_k-t_{k_зад})^2+1/2F_{в3}^2R+ \lambda_1[F_{п}C_{кп}-F_{п}C_k t_k-K_3S_3(t_k-t_{в32})]+\lambda_2[F_{в3}t_{в31}C_{в}+K_3S_3(t_k-t_{в32})-F_{в3}t_{в32}C_{в}-0,2K_3S_3(t_k-t_{в32})]+R[1/(F_{в3}-F_{в3_min})+1/(F_{в3_max}-F_{в3})]$$

Необхідними умовами оптимальності будуть:

$$dL/dt_k=Q(t_k-t_{k_зад})+\lambda_1((-F_{п})C_k-K_3S_3)+0,8\lambda_2K_3S_3$$

$$dL/dt_{в32}=\lambda_1K_3S_3+\lambda_2((-0.8)K_3S_3-F_{в3}C_{в})$$

$$dL/dF_{в3}=F_{в3}R+\lambda_2(t_{в31}C_{в}-t_{в32}C_{в})+R(-1/(F_{в3}-F_{в3_min})^2+1/(F_{в3_max}-F_{в3})^2)$$

Розв'яжемо задачу за допомогою штрафних функцій, для чого створимо програму у MathCad.

Програмно цей алгоритм реалізовується так :

```

V :=

$$\alpha_1 \leftarrow 7.7$$


$$S_1 \leftarrow 80$$


$$\theta_{n1} \leftarrow 288$$


$$Q \leftarrow 1$$


$$R \leftarrow 1$$


$$G_{n_0} \leftarrow 0.04$$


$$G_{nmin} \leftarrow 0.05$$


$$G_{nmax} \leftarrow 0.4$$


$$C_{rs} \leftarrow 3200$$


$$C_n \leftarrow 4200$$


$$G_{rs} \leftarrow 0.115$$


$$Q_{rszad} \leftarrow 343$$


$$Q_{pot} \leftarrow 450$$


$$\theta_{n2} \leftarrow 333$$


$$a \leftarrow 500$$


$$k \leftarrow 1000$$

for i ∈ 0..k
  
$$Q_{rs_i} \leftarrow \frac{G_{rs} \cdot C_{rs} \cdot Q_{pot} + \alpha_1 \cdot S_1 \cdot \frac{G_{n_1} \cdot C_n \cdot \theta_{n1}}{C_n \cdot G_{n_1} + 0.8 \alpha_1 \cdot S_1}}{G_{rs} \cdot C_{rs} + \alpha_1 \cdot S_1 - \frac{0.8(\alpha_1 \cdot S_1)^2}{C_n \cdot G_{n_1} + 0.8 \alpha_1 \cdot S_1}}$$

  
$$\lambda_{2_i} \leftarrow \frac{Q_{rs_i} \cdot Q}{\frac{0.8 + C_n \cdot G_{n_i}}{\alpha_1 \cdot S_1}} \cdot (G_{rs} \cdot C_{rs} + \alpha_1 \cdot S_1) - 0.8 \alpha_1 \cdot S_1$$

  
$$\Delta L_i \leftarrow G_{n_1} \cdot R + \lambda_{2_i} \cdot C_n \cdot (\theta_{n1} - \theta_{n2}) + R \cdot \left[ \frac{1}{(G_{n_1} - G_{nmin})^2} + \frac{1}{(G_{nmax} - G_{n_1})^2} \right]$$

  
$$G_{n_{i+1}} \leftarrow G_{n_1} + \frac{1}{a} \cdot \Delta L_i$$

  
$$I_i \leftarrow 0.5 \cdot Q \cdot (Q_{rs_i} - Q_{rszad})^2 + 0.5 \cdot R \cdot (G_{n_1})^2$$

return 
$$\begin{pmatrix} Q_{rs} \\ \lambda_2 \\ G_n \\ I \end{pmatrix}$$


```

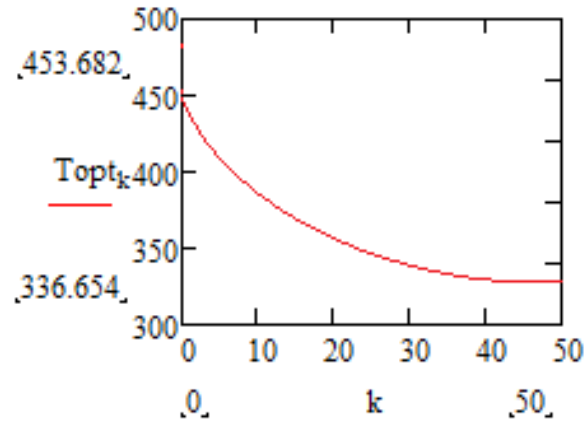


Рис.3.7.1 Зміна оптимальної вихідної температури суміші.

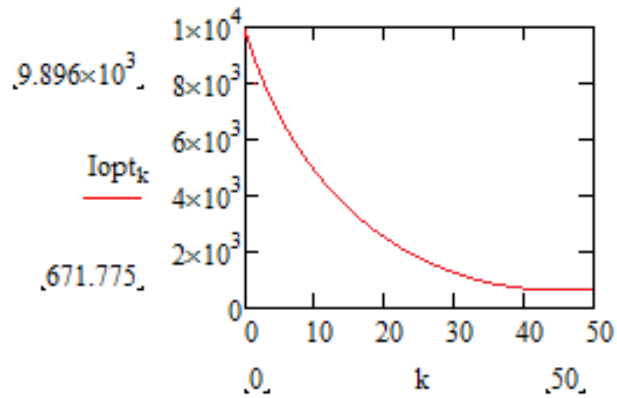


Рис.3.7.2 Зміна квадратичного критерію якості.

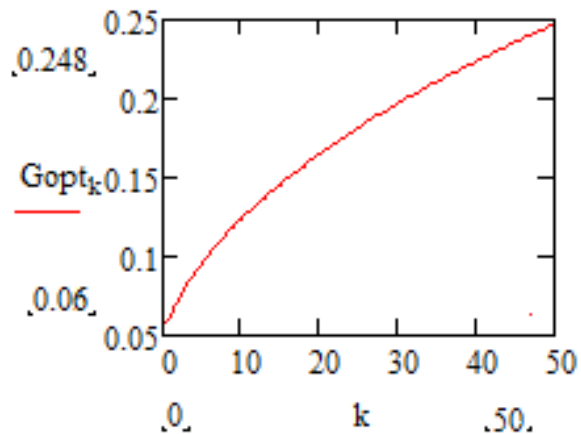


Рис.3.7.3 Зміна оптимальної витрати охолоджуючої води.

Можна зробити висновок, що ми оптимізували оптимальну витрату охолоджуючої пари для швидшої конденсації летких газів.

4. СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

4.1 Обґрунтування вибору типу регулятора

Автоматичне управління процесами має на увазі вимір системою значень певних параметрів і зміна показників в необхідну сторону. Так, наприклад, контроль температури в деяких нагрівальних пристроях дозволяє в автоматичному режимі регулювати потужність роботи приладів: якщо температура при нагріванні досягає встановленого максимального значення, потужність приладу знижується, щоб запобігти перегріву. Подібна взаємодія елементів системи знаходить застосування в багатьох областях техніки.

Ефективним засобом регулювання параметрів системи є ПІД-регулятор. Він приймає дані від різних елементів і утворює відповідний керуючий сигнал. У випадку з контролем нагріву, схема роботи ПІД-регулятора наступна: регулятор від датчика температури отримує інформацію про нагрівання пристрою, відповідно до неї формує і посиляє сигнал елементу, відповідального за регулювання потужності нагрівального елемента.

Назва ПІД-регулятора є аббревіатурою та розшифровується як пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор.

Пропорційна складова

Для підтримки потрібного значення будь-якого параметра регулятор буде посилати сигнали, що дають команду елементам досягти необхідного показника. Сигнал пропорційний відхиленню параметрів системи від необхідних. Якщо відхилення дорівнює нулю, то і сигнал для зміни також буде відсутній.

Використання одного лише пропорційного регулятора в ряді випадків неможливо. Так, при наближенні значення температури нагрівача до встановленого потужність пристрою буде знижуватися. При зниженні потужності наближення буде відбуватися все повільніше. Потрібна температура в результаті ніколи не буде досягнута. Для виключення таких варіантів розвитку подій застосовуються додаткові регулятори.

Інтегральна складова

Регулятор інтегрального типу підводить систему до необхідного значення параметра. Однак робить це не відразу, а виробляючи коливання значень поблизу необхідного показника. У випадку з нагрівачем інтегральний регулятор накаже перевищити максимальну температуру, потім опуститися нижче неї, потім знову перевищити, але на менше значення, потім знову опуститися, також на менше значення, і в кінці кінців температура стабілізується.

Диференціальна складова

Швидкість наближення параметра до необхідного значення оцінюється диференціальним регулятором, який формує сигнал на збільшення швидкодії системи.

Налаштування ПІД-регулятора. Пошук потрібних коефіцієнтів складових в регуляторі може проводитися різними способами. Одним з простих є наступний:

- 1) Виставити значення всіх регуляторів на 0.
- 2) Встановити максимальну потужність роботи регульованого приладу. Збільшити значення пропорційного регулятора, спостерігати за поведінкою системи. Збільшувати значення до тих пір, поки не з'являться коливання, викликані перерегулюванням.

- 3) Зменшити значення пропорційного регулятора, домогтися стабілізації системи (загасання коливань).
- 4) Знизити значення пропорційного регулятора на 15% нижче рівня стабілізації системи. Знизити потужність роботи регульованого приладу.
- 5) Ступінчасто підвищувати максимальну потужність роботи регульованого приладу. Збільшувати значення інтегрального регулятора до моменту виникнення згасаючих коливань. Зменшити значення інтегрального регулятора до рівня, коли система буде досягати потрібного значення без коливань.
- б) Якщо є необхідність встановити значення диференціального регулятора, то при ступінчастому підвищенні швидкості необхідно збільшувати значення цього регулятора до моменту отримання системою стабільного стану з найменшим часом обробки сигналу. Значення можна вважати відповідним при виникненні в системі одного перерегулювання.

Перевірити точність настройки системи шляхом виставлення різних потужностей роботи регульованого приладу.



Рис. 4.1 - Температурний контролер с ПІД-регулятором ТК4S-14RN

4.2 Розрахунок та настройка системи з ПІД-регулятором

Система керування з ПІД-регулятором включає в себе передавальну функцію холодильника, ланку транспортного запізнення (пов'язану з тим, що вода для охолодження поступає в апарат не миттєво, а через трубопровід, певної довжини), вбудований блок ПІД-регулятора, задавач. Систему зображено на рисунку нижче.

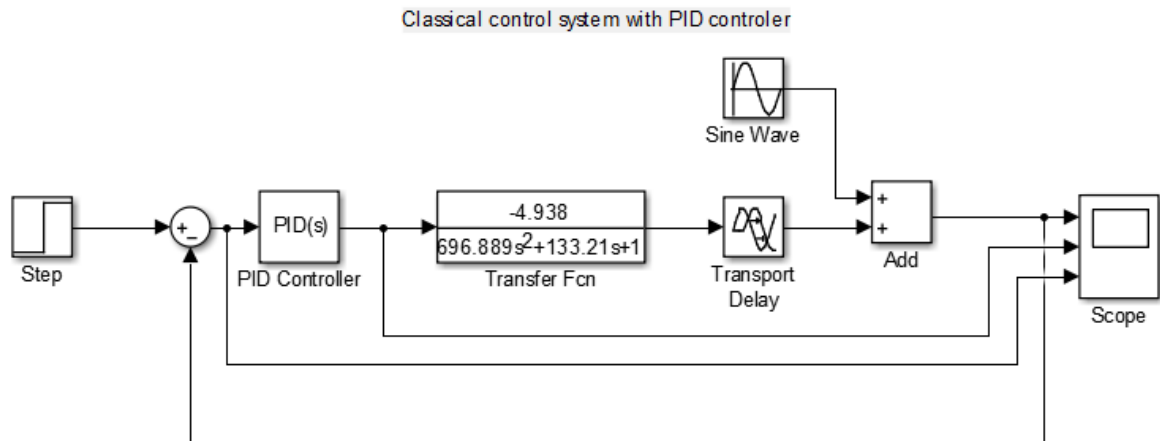
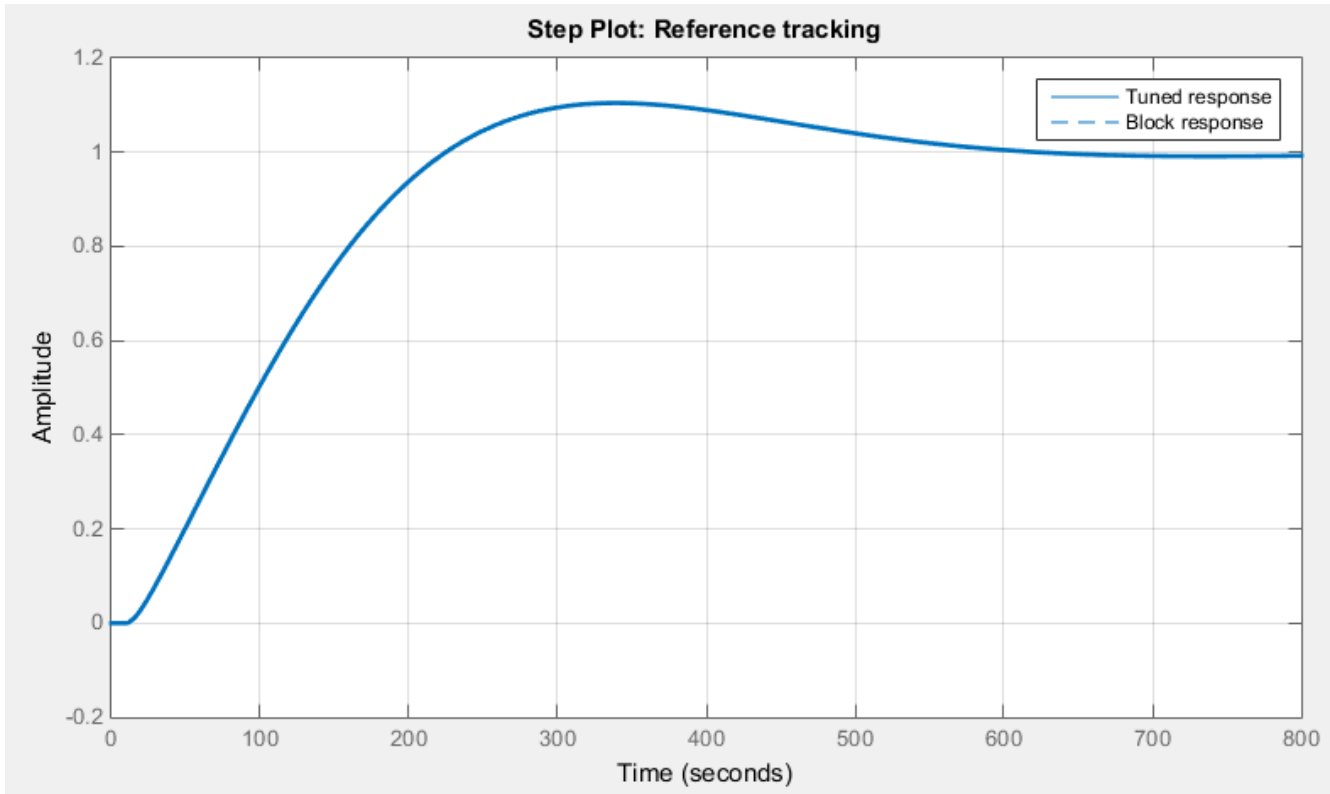


Рис. 4.2. Схема АСР з ПД-регулятором в *Simulink*

У ПД-регуляторах використовується кілька різних коефіцієнтів. Інтегральна складова в ПД-регуляторі забезпечує нульову похибку в сталому режимі, диференціальна – покращує форму перехідної характеристики і збільшує запас стійкості.

Налаштування коефіцієнтів ПД-регулятора відбувається вбудованими засобами *Matlab*, а саме за допомогою *PID Tuning Toolbox*. Даний інструмент автоматично підбирає коефіцієнти обраного типу регулятора, будує перехідну характеристику та показує критерії якості. Результати наведені нижче.



a)

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	-0.13542	-0.13542
I	0.017889	0.017889
D	0	0
N	100	100

Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	154 seconds	154 seconds
Settling time	548 seconds	548 seconds
Overshoot	10.5 %	10.5 %
Peak	1.1	1.1
Gain margin	26.4 dB @ 0.0979 rad/s	26.4 dB @ 0.0979 rad/s
Phase margin	60 deg @ 0.00884 rad/s	60 deg @ 0.00884 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

b)

Рис. 4.3. Результат роботи *PID Tuning Toolbox*:
 а) перехідна характеристика ПІД-регулятора;
 б) виведені коефіцієнти регулятора та критерії якості.

При налаштуванні коефіцієнтів важливим є питання якості управління. Вибір критерію якості регулювання залежить від мети, для якої використовується регулятор. Такою метою може бути:

- підтримання постійного значення параметра (наприклад, температури);

- стеження за зміною уставки або програмне управління;

Для тієї чи іншої задачі найбільш важливими можуть бути такі чинники:

- форма відгуку на зовнішнє збурення (час встановлення, перерегулювання, коефіцієнт загасання та ін.);

- форма відгуку на шуми вимірювань;

- форма відгуку на сигнал уставки;

- вимоги до економії енергії в керованій системі;

- мінімум шумів вимірювань та ін.

Для порівняння якості систем керування в даному дипломному проекті будуть використані такі критерії якості в часовій області:

- e_{max} – максимум похибки регулювання і момент часу T_{max} , при якому похибка досягає цього максимуму;

- час встановлення T_s з заданою похибкою e_s (час, після закінчення якого похибка регулювання не перевищує заданого значення), зазвичай становить близько 1 %, рідше – 2 %, 5 %.

- Перерегулювання

Точність роботи у перехідних режимах визначається сукупністю окремих миттєвих значень похибки $\delta(t)$. З метою стандартизації показників якості у цьому випадку прийнято використовувати перехідні характеристики за каналом завдання $h_y(t)$ при подачі на відповідні входи типових сигналів вигляду $1(t)$, які в узагальненому вигляді характеризують значення $\delta(t)$.

Показники якості, залежно від способу їхнього визначення, розділяють на прямі і непрямі.

При загальній оцінці якості, насамперед, звертають увагу на форму перехідного процесу. Розрізняють наступні типи перехідних процесів: коливальні; аперіодичні; монотонні.

До основних показників характеристики $h(t)$ відносяться перерегулювання σ та час регулювання t_p .

Перерегулювання σ визначають максимальним відхиленням керованої величини від її сталого значення $h(\infty)$, вираженим в % до $h(\infty)$:

$$\sigma = \frac{h_{max} - h(\infty)}{h(\infty)} 100\%$$

Час регулювання t_p – час, після закінчення якого відхилення характеристики $h(t)$ від сталого значення $h(\infty)$ стає і залишається менше зони нечутливості системи $\delta=(0.01\div 0.05)h(\infty)$. Цей показник характеризує швидкість протікання перехідного процесу. Визначення критеріїв якості регулювання в часовій області показане на рис. 3.6.

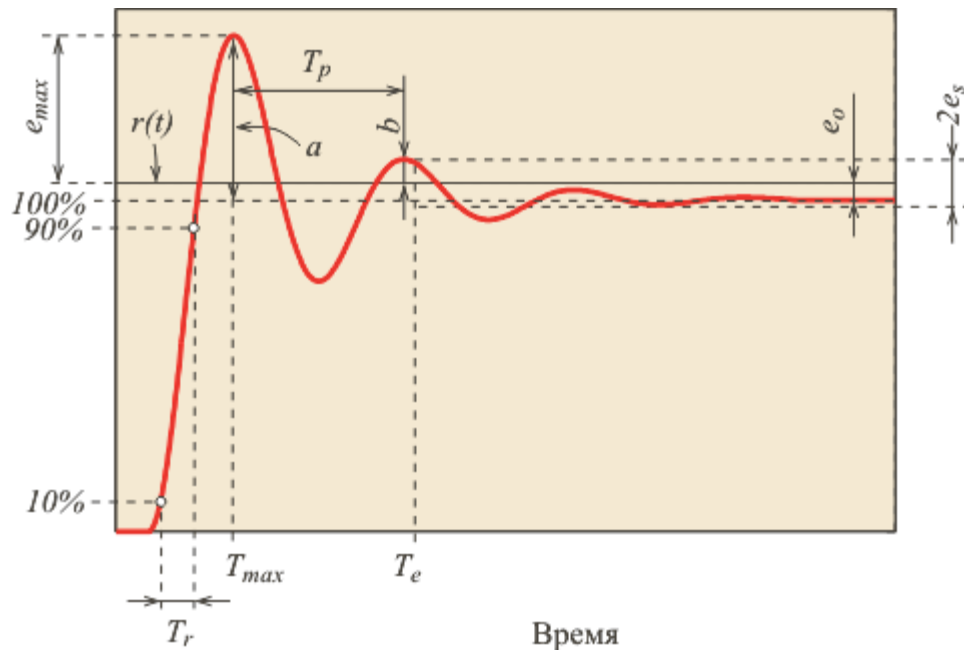


Рис. 4.4. Критерії якості регулювання в часовій області

Також для отримання кількісних характеристик якості керування використано інтегральний показник:

$$I = \int_0^{\infty} \varepsilon^2 dt$$

де ε – похибка між заданим та поточним значенням керованої величини. Для розрахунку показника дані (масив часу, і масиви ординат перехідних характеристик) компонента «Score» (рис. 3.4.) були збережені в робочу область *Matlab* з подальшою числовою обробкою. Враховуючи дискретний характер даних, показник був замінений на формулу:

$$I = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (500 - y_i)^2,$$

де N – кількість точок вимірювання, y_i – поточне значення величини в i -й точці.

Також на один графік виведено значення керованої температури, значення керувального впливу з регулятора та похибки для кожної полиці. Рисунок наведений нижче.

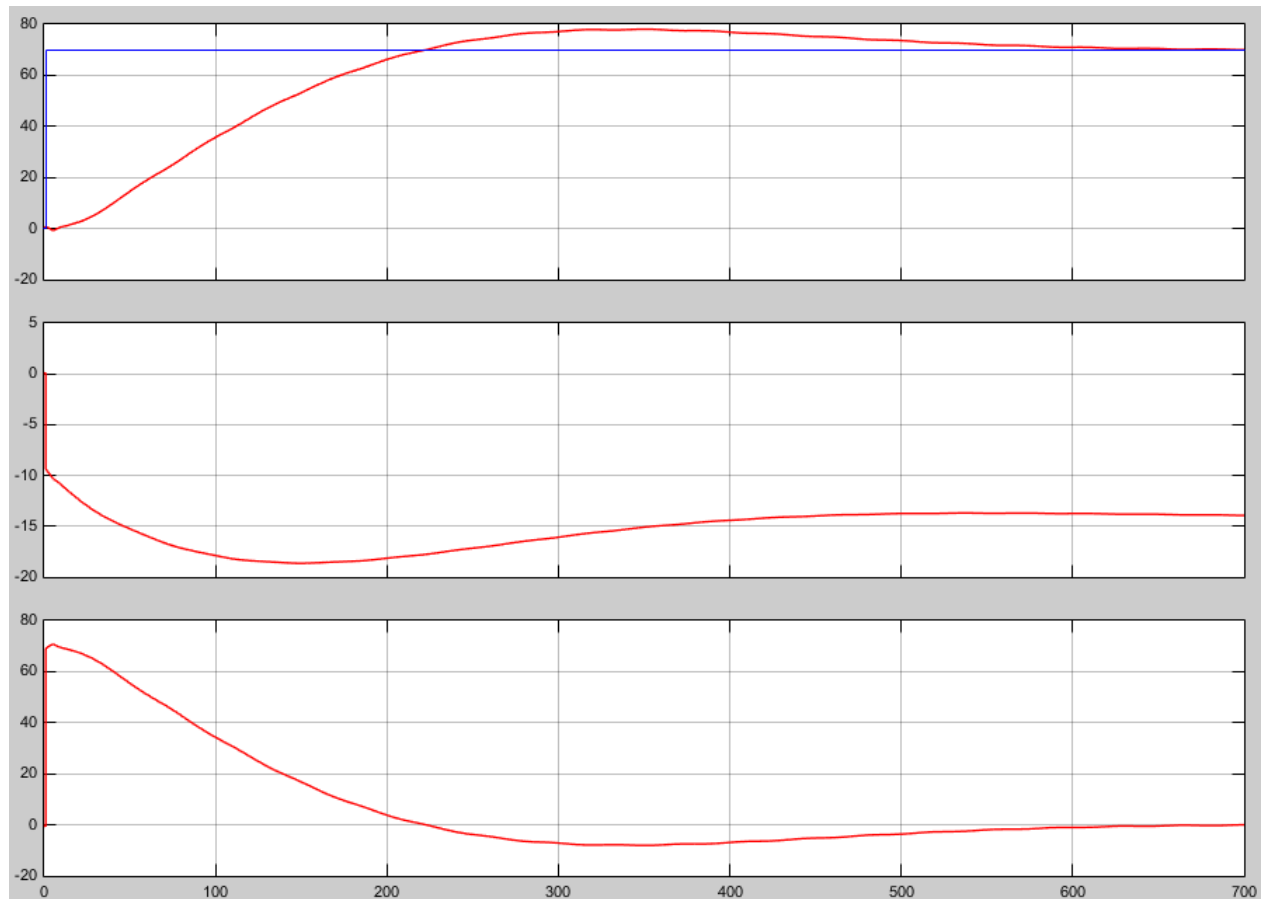


Рис. 4.5. Графіки значень керованої величини, керувальної дії та похибки у вікні *Simulink*

Проаналізувавши отримані дані з графіків перехідних процесів можна визначити потрібні критерії якості для АСР з ПД-регулятором:

Таблиця 4.1. Критерії якості керування

Критерій	Значення ПІД-регулятора
Перерегулювання	10.5 %
e_{\max}	7.49 °C
T_{\max}	154 с
Час встановлення, T_s	548 с

Як висновок важливо зазначити, що розроблений контур з ПІД-контролером буде порівнюватися з контуром на основі нечіткої логіки.

3.4. Обґрунтування та типові сценарії використання нечіткої логіки в системах керування

Під нечіткими системами автоматичного управління розуміються системи управління, що містять структурно блоки нечіткого логічного висновку. Зазначені блоки представляють собою нелінійні ланки, оператори яких визначається базою знань, що складається з нечітких продукційних правил, і використанням алгоритмом нечіткого логічного висновку.

Аналіз останніх публікацій показав, що використання нечітких регуляторів дозволяє зменшити час перехідного процесу, знизити величину перерегулювань та скоротити число коливань.

Серед причин поширення *Fuzzy*-управління в сучасній літературі також виділяють наступні :

- 1) можливість синтезу систем управління в умовах невизначеності, коли про об'єкт управління і необхідному управлінні є інформація лише якісного характеру;

2) особливі властивості систем керування з нечіткою логікою, зокрема, мала чутливість до зміни параметрів об'єкта управління;

3) синтез систем управління складними об'єктами з застосуванням методів нечіткої логіки найчастіше менш трудомісткий, ніж традиційних систем управління;

4) лінгвістична форма завдання інформації є достатньо простою для інтерпретації.

Нечітка логіка в регуляторах використовується переважно двома шляхами:

- 1) для побудови самого регулятора;
- 2) для організації підстроювання коефіцієнтів регулятора.

Для побудови нечітких регуляторів зазвичай використовують П, І, ПІ, ПД і ПІД-закони регулювання. Детальніше побудова нечіткого регулятора розглянута нижче – на рис. 3.8. наведена структура нечіткого ПІ-регулятора.

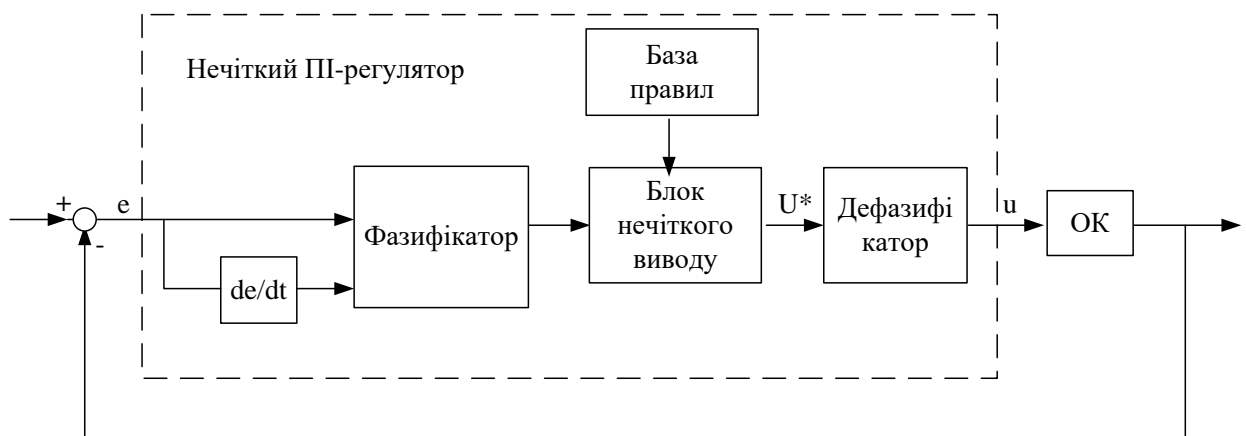


Рис. 4.6. Структура нечіткого ПІ-регулятора

Лінійний ПІ-регулятор можна замінити близьким за стратегією нечітким *fuzzy*-регулятором. Закон регулювання буде мати вигляд:

$$\frac{dy(t)}{dt} = k \frac{d\varepsilon(t)}{dt} + \frac{1}{T} \varepsilon(t)$$

або в різницевій формі:

$$\Delta y(k) = y(k) - y(k-1) = KD\Delta\varepsilon(k) + \frac{\Delta y}{T} \varepsilon(k).$$

Таким чином, може бути створений *fuzzy*-регулятор, який синтезує нелінійний закон еквівалентним у певному сенсі ПІ-закону:

$$\Delta y(k) = F[\Delta\varepsilon(k), \varepsilon(k)].$$

На вхід регулятора надходить похибка і обчислюється її похідна за часом. Далі обидві величини спочатку піддаються операції фазифікації (перетворення в нечіткі змінні), потім отримані нечіткі змінні використовуються в блоці нечіткого логічного висновку для отримання керувального впливу на об'єкт, яке після виконання операції дефазифікації (зворотного перетворення нечітких змінних у чіткі) надходить на вихід регулятора у вигляді керувального впливу Δy . Блок логічного висновку формується на основі правил, створених згідно відповідей експерта.

Слід зазначити, що у випадках, коли інформації достатньо для отримання точної математичної моделі об'єкта, традиційний регулятор завжди буде краще нечіткого, тому що при синтезі нечіткого регулятора вихідні дані задані наближено.

3.5. Розрахунок та дослідження системи керування температурним режимом у холодильника з нечітким регулятором

Для формування нечіткої моделі, лінійний неперервний ПІД-регулятор можна замінити близьким по стратегії нечітким *fuzzy*-

регулятором, з бібліотеки *Simulink*, який синтезує нелінійний закон еквівалентним в певному сенсі ПД-закону .

На вхід нечіткого регулятора надходить похибка $\varepsilon(k)$, її обчислена похідна за часом $\Delta\varepsilon(k)$ та інтеграл похибки. Далі величини спочатку піддаються операції фазифікації (перетворення в нечіткі змінні), потім отримані нечіткі змінні використовуються в блоці нечіткого логічного висновку для отримання керувального впливу на об'єкт, який після виконання операції дефазифікації (зворотного перетворення нечітких змінних в чіткі) надходить на вихід регулятора у вигляді керувального впливу $\Delta u(k)$.

Для реалізації наведеного вище алгоритму нечіткого моделювання в середовищі *Simulink* призначений спеціальний пакет розширення *Fuzzy Logic Toolbox*. В Редакторі системи (*Fuzzy Inference System Editor*) обираємо тип системи – Мамдані, задаємо три входи $\varepsilon(k)$, $\Delta\varepsilon(k)$ *integral* $\varepsilon(k)$, та вихід $\Delta u(k)$.

Далі відбувається етап фазифікації вхідних та вихідних лінгвістичних змінних. Результат наведений на рис. 3.9.

Для застосування методів нечіткої логіки насамперед необхідно перетворити звичайні чіткі змінні в нечіткі. Процес такого перетворення називається фазифікації. Він ілюструється на рисунках 3.10...3.13. Діапазон зміни величини розбивається на підмножини, в межах кожної з яких будується функція приналежності змінної кожному з множин.

На рисунках 3.10...3.13 функції належності мають трикутну форму, хоча в загальному випадку вони можуть бути будь-якими, виходячи зі змісту розв'язуваної задачі. Кількість множин (термів) також може бути довільним.

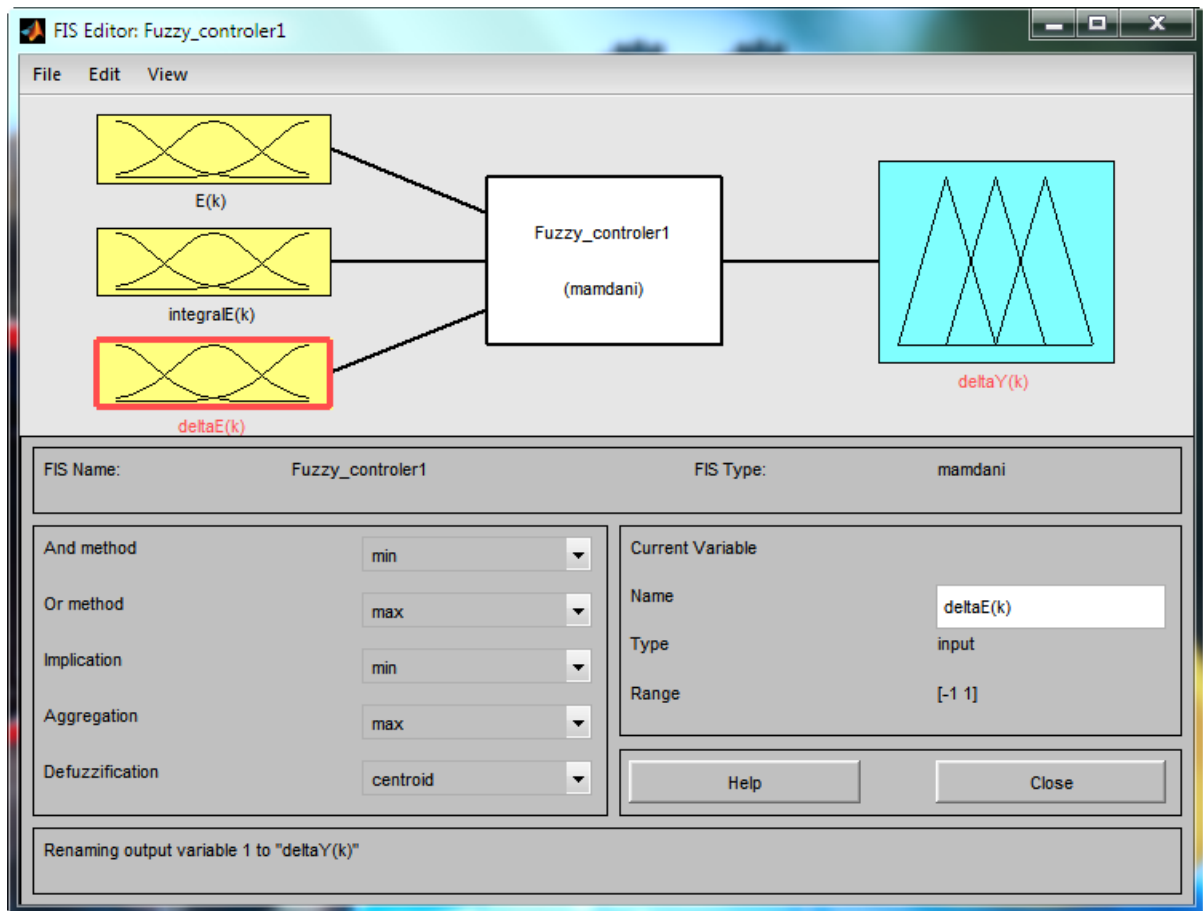


Рис. 4.7. Створення нечіткого регулятора в пакеті *Fuzzi Logic Toolbox*

У вікні Редактора функцій належності (*Membership Function Editor*) для кожної терми формуємо функції належності. Було сформовано по 3 терми для вхідних нечітких змінних та 7 термів для вихідної нечіткої змінної.

Функції належності для кожної лінгвістичної змінної наведені на рисунках нижче.

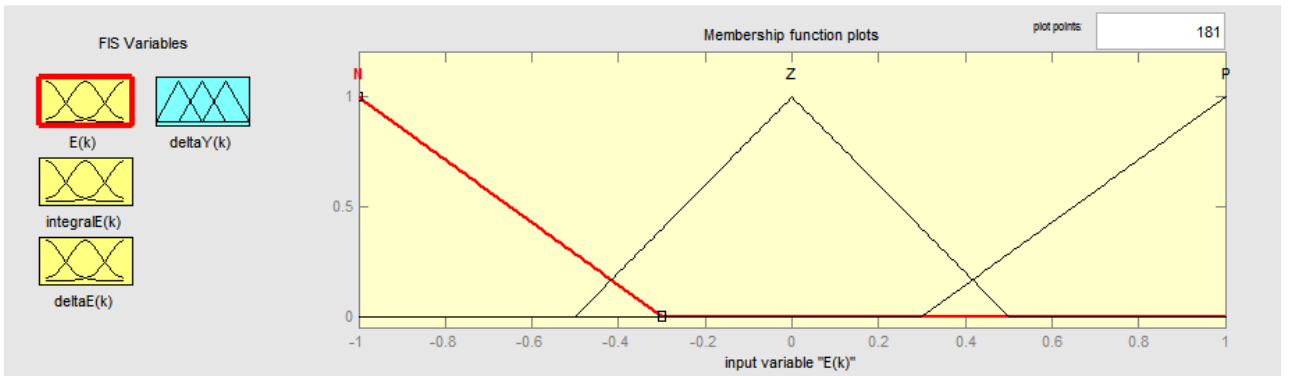


Рис. 4.8. Графіки функцій належності змінної – похибка на вході нечіткого регулятора

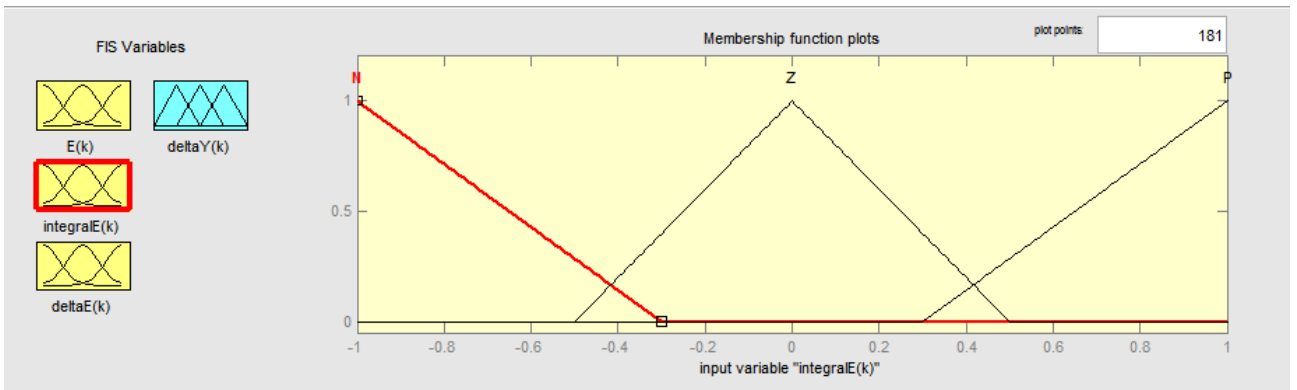


Рис. 4.9. Графіки функцій належності змінної – інтеграл похибки $Integral\epsilon(k)$

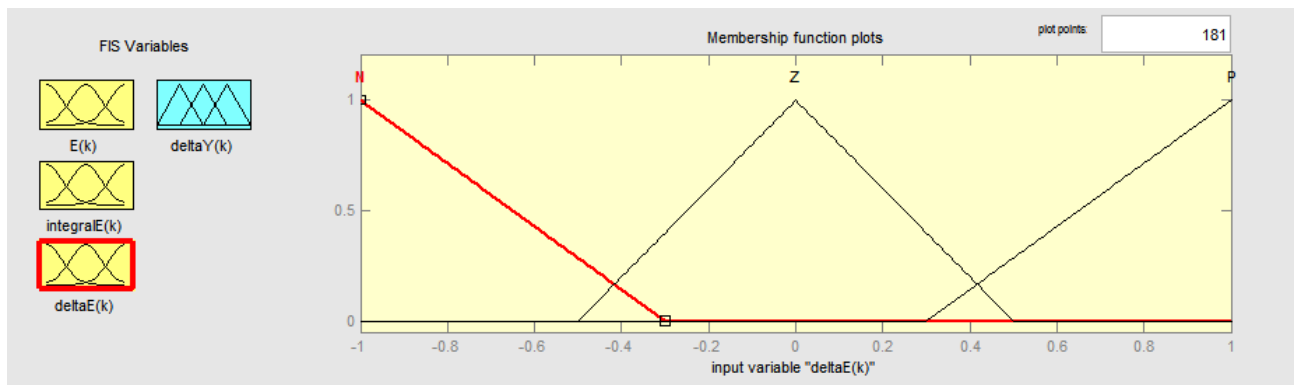


Рис. 4.10. Графіки функцій належності змінної – похідна за часом $\Delta\epsilon(k)$

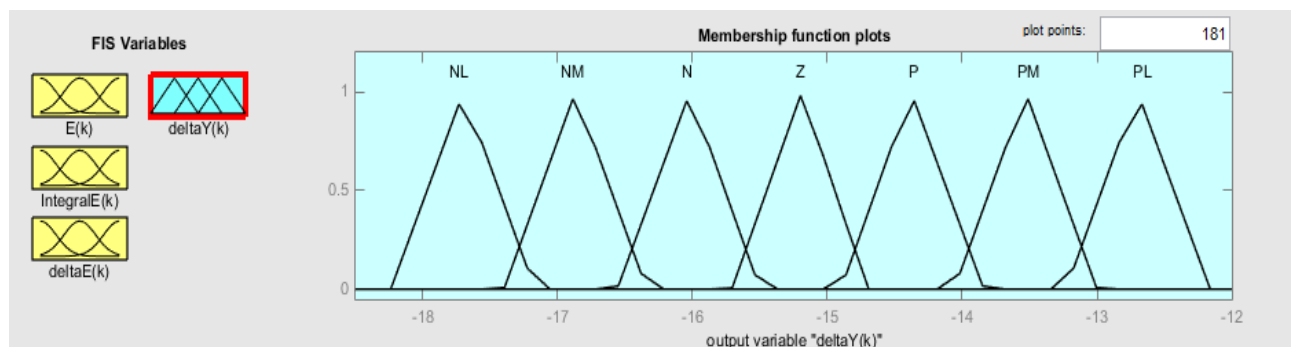


Рис. 4.11. Графіки функцій належності змінної – керувальний вплив $\Delta y(k)$

Розглядаємо такі лінгвістичні змінні:

Похибка на вході нечіткого регулятора $\varepsilon(k)$ – «Негативна», «Нульова», «Позитивна».

Похідна за часом $\Delta\varepsilon(k)$ – «Негативна», «Нульова», «Позитивна».

Інтеграл похибки $Integral\Delta\varepsilon(k)$ – «Негативний», «Нульовий», «Позитивний».

Приріст величини керувального впливу $\Delta y(k)$ – «Великий негативний», «Середній негативний», «Негативний», «Нульовий», «Позитивний», «Середній позитивний», «Великий позитивний».

Для виконання функції регулювання над нечіткими змінними мають бути виконані операції, побудовані на підставі висловлювань оператора, сформульованих у вигляді нечітких правил. Створення правил відбувалося на основі емпіричного досвіду у роботі із схемою та моделюванню її при різних варіаціях, дипломного проекту бакалавра, опису технології процесу та аналізу літератури. Формування бази правил нечіткого регулятора відбувається у вікні *Edit Rules*.

Розроблені правила наведено нижче:

- 1) якщо $\varepsilon(k) = N$ і $Integral\Delta\varepsilon(k) = N$, то $\Delta y(k) = NL$;
- 2) якщо $\varepsilon(k) = N$ і $Integral\Delta\varepsilon(k) = Z$, то $\Delta y(k) = NM$;

- 3) якщо $\varepsilon(k) = N$ і $Integral\Delta\varepsilon(k) = P$, то $\Delta y(k) = Z$;
- 4) якщо $\varepsilon(k) = Z$ і $Integral\Delta\varepsilon(k) = N$, то $\Delta y(k) = NM$;
- 5) якщо $\varepsilon(k) = Z$ і $Integral\Delta\varepsilon(k) = Z$, то $\Delta y(k) = Z$;
- 6) якщо $\varepsilon(k) = Z$ і $Integral\Delta\varepsilon(k) = P$, то $\Delta y(k) = PM$;
- 7) якщо $\varepsilon(k) = P$ і $Integral\Delta\varepsilon(k) = N$, то $\Delta y(k) = Z$;
- 8) якщо $\varepsilon(k) = P$ і $Integral\Delta\varepsilon(k) = Z$, то $\Delta y(k) = PM$;
- 9) якщо $\varepsilon(k) = P$ і $Integral\Delta\varepsilon(k) = P$, то $\Delta y(k) = PL$;
- 10) якщо $\Delta\varepsilon(k) = N$, то $\Delta y(k) = N$;
- 11) якщо $\Delta\varepsilon(k) = Z$, то $\Delta y(k) = Z$;
- 12) якщо $\Delta\varepsilon(k) = P$, то $\Delta y(k) = P$.

Розроблені правила заносяться через редактор правил (рис. 3.14).

Також виводимо вікно перегляду результатів використання розроблених правил (рис. 3.15).

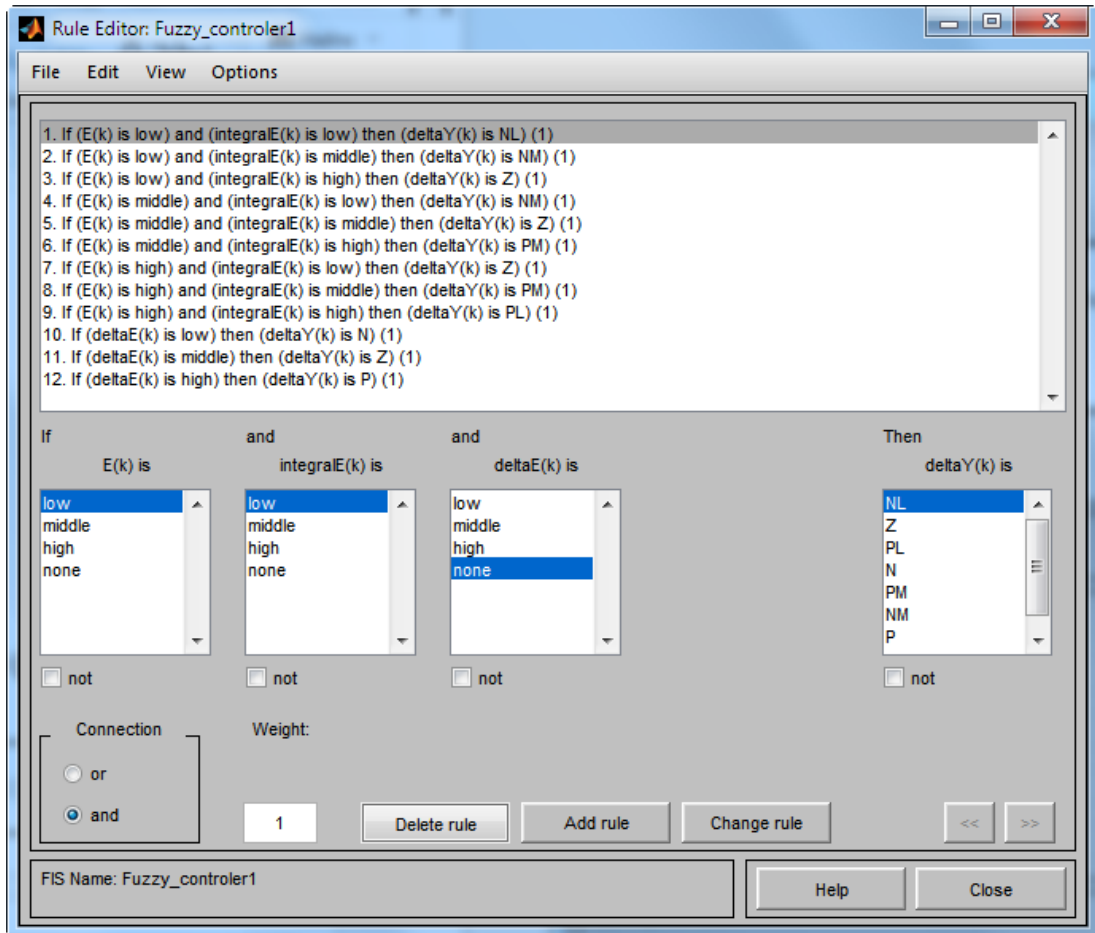


Рис. 4.12. Вікно редактора правил після їх визначення

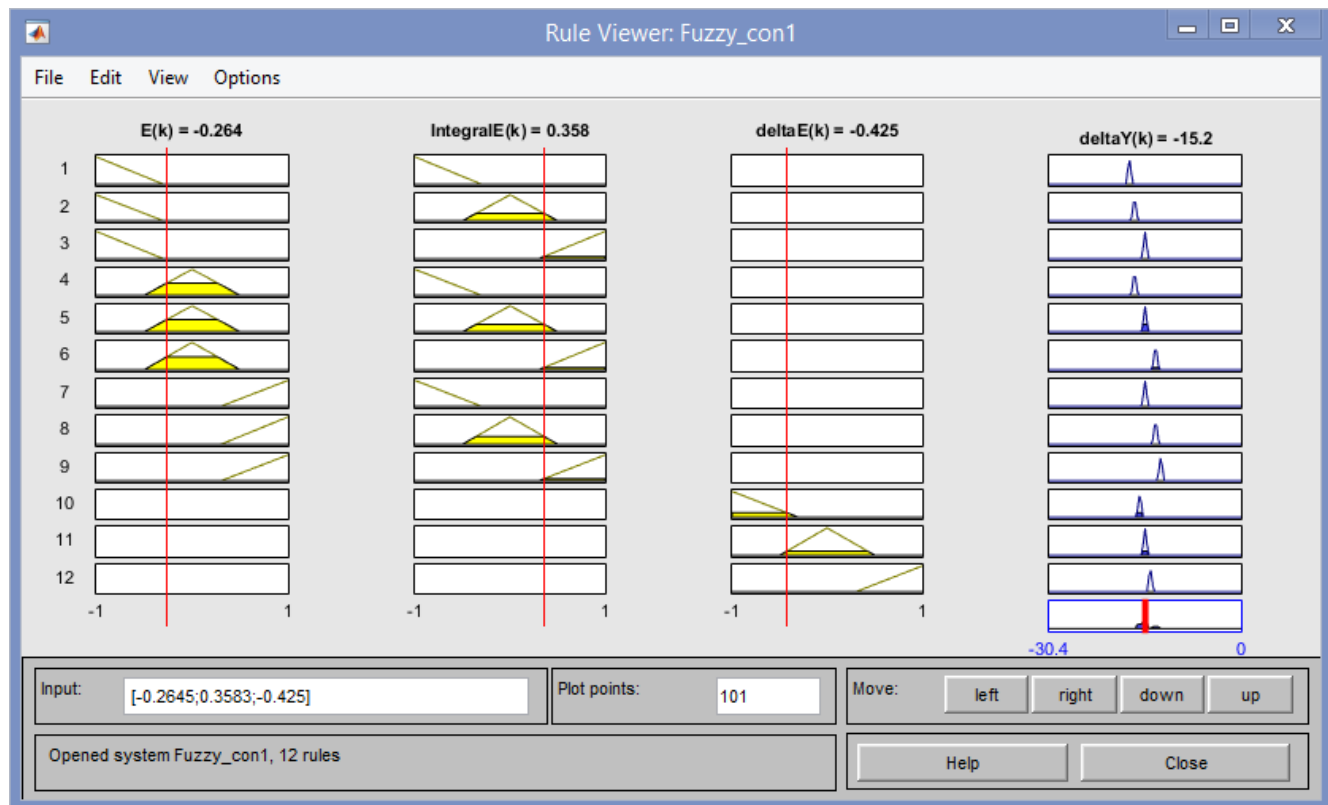
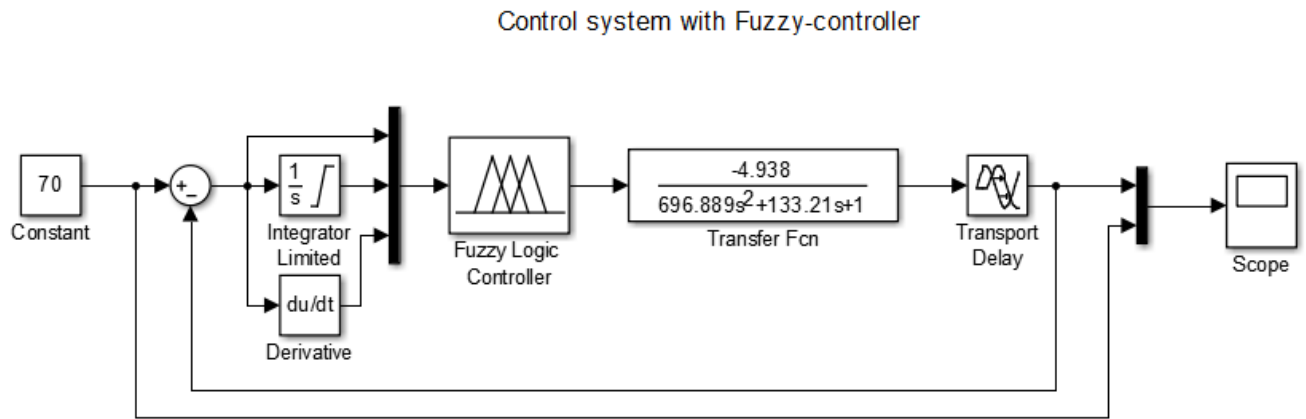
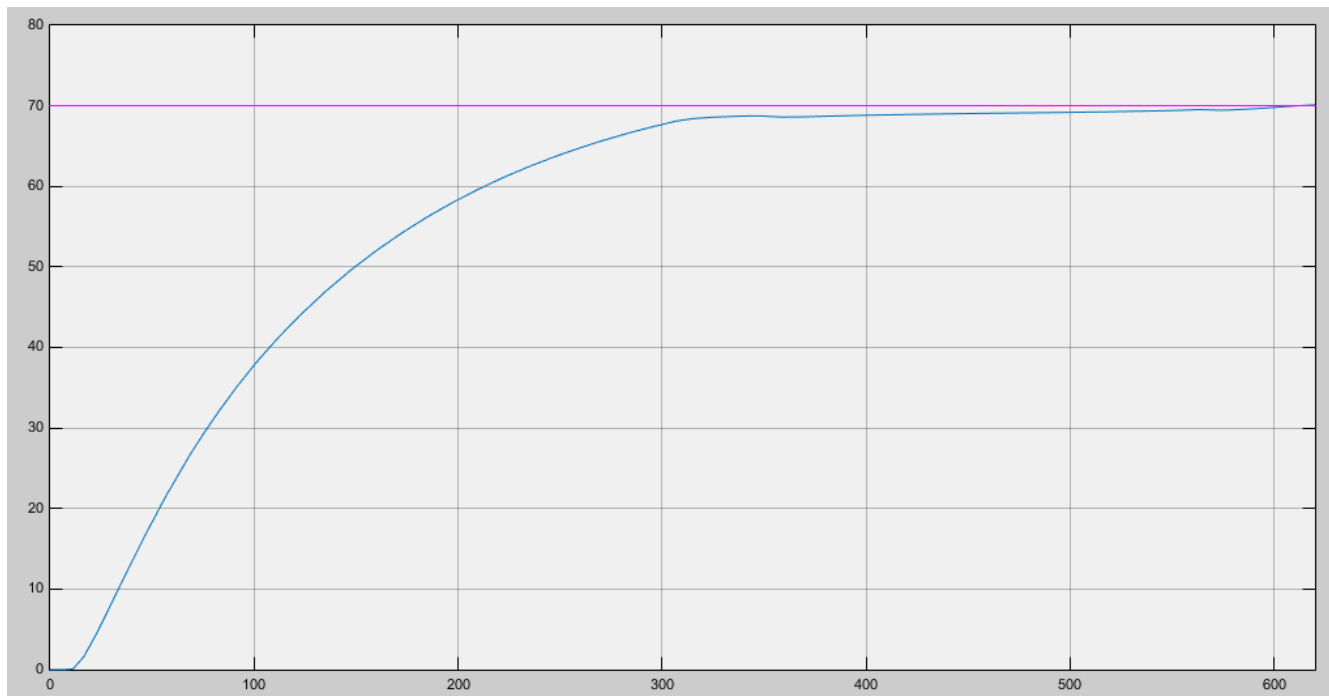


Рис. 4.13. Результат використання розроблених правил

Для аналізу якості перехідних процесів було проведено комп'ютерне моделювання нечіткого ПД-регулятора. Для створення нечіткої АСР у робочому полі *Simulink* підключаємо нечітку модель до системи, вказавши у вікні параметрів блоку *fuzzy-регулятора* ім'я файлу (*fuzzy-controller*) та на наступному етапі проводиться комп'ютерне випробування нечіткої моделі. Побудований контур наведена на рисунку 3.16 а), а графіки перехідних процесів – на рисунку 3.16 б).



a)



б)

Рис. 4.14. а) Схема АСР с *fuzzy*-регулятором в *Simulink*;

б) Графіки перехідних процесів

Згідно графіків перехідних процесів АСР с *fuzzy*-регулятором можна визначити критерії якості:

Таблиця 4.2. Критерії якості керування

Критерій	Значення <i>Fuzzy</i> -регулятора
Перерегулювання	0 %
e_{max}	0 °C
T_{max}	0 с
Час встановлення, T_s	305 с

Проаналізувавши варіант побудови контуру з ПІД-контролером та з контуром на основі нечіткої логіки можемо зробити висновок що другий варіант кращий, за такими критеріями як: перерегулювання, e_{max} , T_{max} , T_s .

5. ОПТИМІЗАЦІЯ КОНДЕНСАТОРА-ХОЛОДИЛЬНИКА

5.1 Модель динамічного режиму роботи об'єкта

Динамічний режим – режим роботи об'єкта (пристрою, механізму, машини тощо), за якого хоч би один з параметрів режиму змінюється у часі.

Характерною особливістю об'єктів регулювання є розподіл їх параметрів у просторі. Інколи він незначний, тоді можна припустити, що параметри об'єкта зосереджені в одній точці – це об'єкти із зосередженими параметрами. У протилежному випадку виділяють об'єкти із розподіленими параметрами. Для зосереджених об'єктів змінні, що описують поведінку об'єкта, змінюються тільки в часі. Для об'єкта з розподіленими параметрами – і у часі, і у просторі. Ми розглядаємо теплообмінник як об'єкт з зосередженими параметрами, тобто припускаємо, що параметри по довжині об'єкта не змінюються.

Математична модель динамічного режиму роботи.

$$\frac{dt_k}{dt} = -\frac{F_p c_p + KS}{M_p c_p} t_k + \frac{KS}{M_p c_p} t_{v2} + \frac{F_p}{M_p} t_p;$$

$$\frac{dt_{v2}}{dt} = \frac{KS}{M_v c_v} t_k - \frac{F_v c_v + KS}{M_v c_v} t_{v2} + \frac{F_p}{M_v} t_{v1}.$$

Передавальна функція:

$$W(p) = \frac{b}{p^2 + a_1 p + a_2},$$

де

$$a_1 = \frac{F_v c_v + KS}{M_v c_v} + \frac{F_p c_p + KS}{M_p c_p} - \frac{KS}{M_v c_v} - \frac{KS}{M_p c_p},$$

$$a_1 = 2,26 \cdot 10^{-3}$$

$$a_2 = \frac{F_p c_p + KS}{M_p c_p} + \frac{F_v c_v + KS}{M_v c_v},$$

$$a_2 = 2,094$$

$$b = \frac{KS}{M_p c_p} \cdot \frac{t_{v1} - t_{v2}}{M_v},$$

$$b = -4,821 \cdot 10^{-3}$$

5.2. Вибір критерію оптимальності

З передавальної функції отримуємо систему в просторі станів

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} &= -a_1 x_1 - a_2 x_2 + bu \end{aligned}$$

де

$$x_1 = t_k, \quad x_2 = \frac{dt_k}{dt}, \quad u = F_v$$

Запишемо в матричному вигляді

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= AX + BU \\ A &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -a_1 & -a_2 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ b \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Запишемо критерій оптимальності:

$$I = \frac{1}{2} \int_0^{t_f} (X^T Q X + U^T R U) dt$$

$$I = \frac{1}{2} \int_0^{t_f} (q(x_1 - x_2)^2 + ru^2) dt$$

$$q = 1, \quad r = 1000, \quad x_2 = t_2 = 70$$

5.3. Розрахунок оптимального керування

На основі критерію оптимальності і математичної моделі запишемо Гамільтоніан

$$H = \frac{1}{2} X^T Q X + \frac{1}{2} U R U + \lambda^T (A X + B U)$$

$$H = \frac{1}{2} (q(x_1 - x_2)^2 + ru^2) + \lambda_1 x_2 + \lambda_2 (-a_1 x_1 - a_2 x_2 + bu)$$

Запишемо спряжену систему рівнянь

$$\begin{aligned} -\frac{d\lambda}{dt} &= \frac{dH}{dX}, \quad -\frac{d\lambda}{dt} = QX + A^T \lambda; \\ -\frac{d\lambda_1}{dt} &= q(x_1 - x_2) - a_1 \lambda_2; \\ -\frac{d\lambda_2}{dt} &= \lambda_1 - a_2 \lambda_2. \end{aligned}$$

Знайдемо оптимальне управління

$$\frac{dH}{dU} = 0, \quad U_0 = -\frac{1}{R} B^T \lambda, \quad u = -\frac{1}{r} b \lambda_2.$$

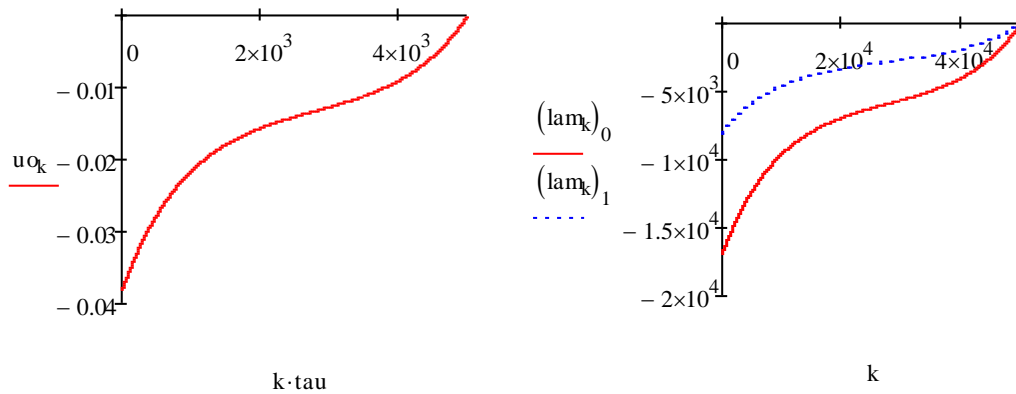
Запишемо модель у дискретному вигляді, $\tau = 0,1$

$$\begin{aligned} X_{i+1} &= X_i + \tau (A X_i + B U); \\ x_{1_{i+1}} &= x_{1_i} + \tau x_{2_i}; \\ x_{2_{i+1}} &= x_{2_i} + \tau (-a_1 x_{1_i} - a_2 x_{2_i} + b u_i); \\ \lambda_{i-1} &= \lambda_i + \tau (Q X_i + A^T \lambda_i); \\ \lambda_{1_{i-1}} &= \lambda_{1_i} + \tau (q(x_{1_i} - x_2) - a_1 \lambda_{2_i}); \end{aligned}$$

$$\lambda_{2_{i-1}} = \lambda_{2_i} + \tau(\lambda_{1_i} - a_2 \lambda_{2_i}).$$

Оптимальне керування визначається так:

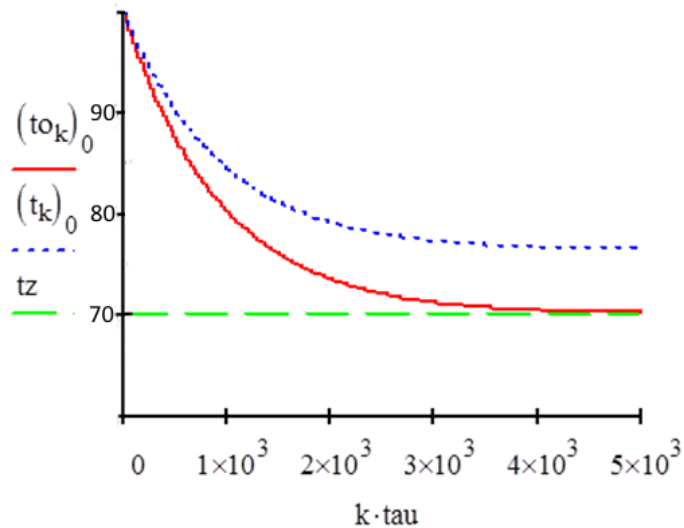
$$U o_i = -\frac{1}{R} B^T \lambda_i; \quad u o_i = -\frac{1}{r} b \lambda_{2_i}.$$



Зміна оптимального керування

Графіки зміни множників Лагранжа

На наступному графіку наведемо криву виходу температури при оптимальному та довільному керуванні:



Значення критерію оптимальності:

При довільному керуванні:

$$I = \frac{1}{2} \int_0^{t_f} (q(x_1 - x_2)^2 + ru^2) dt$$

$$I = 2,583 \times 10^7$$

При оптимальному керуванні:

$$I_{opt} = \frac{1}{2} \int_0^{t_f} (q(x_1 - x_2)^2 + ru^2) dt$$

$$I_{opt} = 4,026 \cdot 10^6$$

5.4. Розрахунок оптимального керування зі зворотнім зв'язком

Гамільтоніан має вигляд:

$$H = \frac{1}{2} X^T Q X + \frac{1}{2} U R U + \lambda^T (A X + B U);$$

$$H = \frac{1}{2} (q(x_1 - x_2)^2 + ru^2) + \lambda_1 x_2 + \lambda_2 (-a_1 x_1 - a_2 x_2 + bu);$$

Тепер знаходимо:

$$\frac{dH}{dU} = 0$$

Визначимо оптимальне управління зробивши заміну $\lambda(t) = P(t)x(t)$

$$U_o = -\frac{1}{R} B^T P X;$$

$$u = -\frac{1}{r} b(p_{12} x_1 + p_{22} x_2);$$

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{bmatrix} \quad Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Знайдемо коефіцієнти Ріккати:

$$P' = -PA - A^T P + PBR^{-1}B^T P - Q$$

Розв'язавши нижче наведену систему знайдемо коефіцієнти матриці Ріккати:

$$\begin{aligned} p'_{11} &= 0.00226p_{12} + 0.00226p_{21} + 2.26 \cdot 10^{-8}p_{12}p_{21} - 1 \\ p'_{22} &= -p_{12} - p_{21} + 4.21p_{22} + 2.2610^{-8}p_{22}^2 \\ p'_{12} = p'_{21} &= -p_{11} + 2.1p_{12} + 0.00226p_{22} + 2.2610^{-8}p_{12}p_{22} \end{aligned}$$

Запишемо значення критеріїв оптимальності:

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{2} \int_0^{t_f} (q(x_1 - x_2)^2 + ru^2) dt \\ I &= 2,583 \cdot 10^7 \\ I_{opt} &= \frac{1}{2} \int_0^{t_f} (q(x_1 - x_2)^2 + ruo^2) dt \\ I_{opt} &= 4,026 \cdot 10^6 \end{aligned}$$

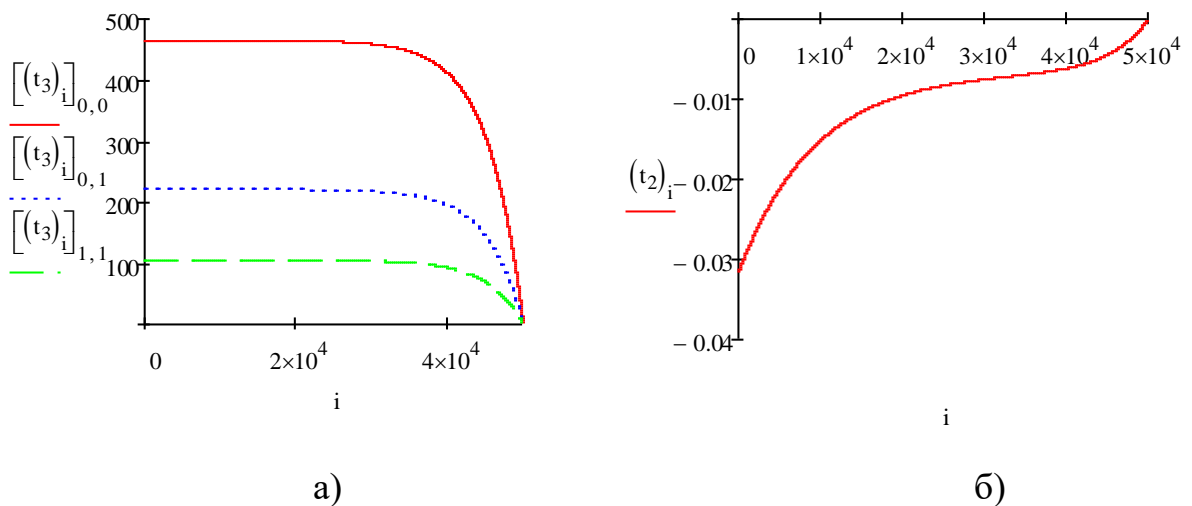


Рис. 5.1. а) графіки зміни коефіцієнтів матриці Ріккати;
б) графіки зміни оптимального керування

6. ВИКОРИСТАННЯ ПРИВАТНОГО БЛОКЧЕЙНУ ТА SMART-КОНТРАКТІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ «РОЗУМНОГО» ШАРУ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СТАБІЛІЗАЦІЇ КРЕКІНГ-БЕНЗИНУ

6.1. Що таке блокчейн?

Блокчейн – розподілена база даних, яка підтримує перелік записів, так званих блоків та транзакцій. База даних захищена криптографічно від підробок і перероблень. Кожен блок містить часову мітку та посилання на геш попереднього блоку. Зміна одного значення у даних призводить до зміни всіх наступних даних, тому будь-які зміни легко помітити.

Прозорість і захищена архітектура блокчейн-рішень дозволяють докорінно трансформувати сферу виробництва та відкривають нові можливості для більшості компаній.

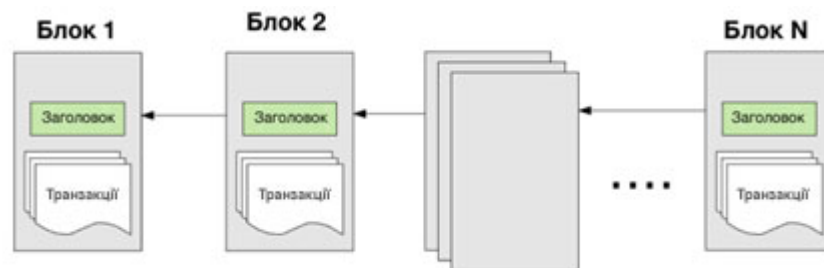


Рис. 6.1 Мережа блоків та транзакцій

У 2014 році бази даних на основі блокчейнів почали набирати популярність у фінансовій сфері. Банки зайнялися розробкою концептів і прототипів на основі цієї технології. Наприклад, фондова біржа NASDAQ планувала використовувати протокол Open Assets Protocol, заснований на забарвлених монетах (colored coins), для забезпечення повного циклу контролю за цінними паперами клієнтів.

Найбільший французький банк BNP Paribas досліджує можливість впровадження біткойнів в валютну систему. Австралійські банки — Commonwealth Bank of Australia (CBA), Westpac Banking Corporation і Australia and New Zealand Banking Group також експериментують з платежами на основі протоколу Ripple.

Окрім роботи над впровадженням загальнодоступних протоколів, організації вивчають можливості побудови власних приватних блокчейнів. Наприклад, компанія Citigroup побудувала три блокчейна і внутрішню валюту на їх основі з метою мінімізації ризиків при взаємодії з іншими банками. Виходить, що як публічні, так і приватні блокчейни здатні знайти застосування в фінансовому секторі. У чому різниця між ними і якими перевагами і недоліками вони володіють.

Серед основних переваг блокчейна можна виділити децентралізацію і мінімізацію припущень про довіру, а також прозорість проведених транзакцій. Децентралізація довіри дозволяє обмінюватися активами без участі будь-яких авторитетів, що зберігають ключі доступу. Наприклад, в біткоїні реалізована модель довіри, заснованої на обчисленнях. Довіра не залежить від наявності або відсутності нечесних учасників, тому що вони не можуть «підробити» довіру. Вони не можуть видати себе за довірених учасників, тому що таких просто немає в системі. Вони не можуть вкрати центральні ключі, тому що їх теж немає.

Що стосується прозорості проведених транзакцій, то аналогією може служити велика загальна папка FTP. Ви бачите весь її зміст, а також знаєте хто, коли і в які каталоги завантажував файли. Але при цьому кожен користувач має різні права доступу. Хтось може лише переглядати список, а хтось (той, кому призначається файл) — завантажувати дані до себе.

6.2. Публічні блокчейни

Публічні або загальнодоступні блокчейни можуть бути прочитані будь-яким користувачем, кожен з яких має право формувати транзакції. При цьому операції захищаються механізмами криптографічної верифікації, такими як доказ виконання роботи або підтвердження частки (proof-of-stake).

«Контролює» публічний блокчейн відразу всю спільноту учасників мережі — розробники, користувачі, постачальники послуг, майнери — які забезпечують цілісність мережі та зручність роботи в ній. Ефективність роботи мережі досягається за допомогою оновлень протоколу, що запобігають шкідливі зміни. Саме тому система дозволяє створювати децентралізовані додатки з мінімумом витрат на технічне обслуговування.

Також вони надають спосіб захисту користувачів додатку від розробників, обмежуючи можливості останніх. У додатках на публічному блокчейні розробник не може сам по собі змінювати код або дані. Як говорив Томас Шеллінг (Thomas Schelling): «Слабкість іноді може обернутися перевагою».

Окрім цього, публічні блокчейни володіють мережевими ефектами. Першими користувачами додатків, побудованих на публічному блокчейні, найчастіше є користувачі інших додатків на тому ж блокчейні, які дізналися про них завдяки ефекту взаємодії програм. Наприклад, мобільний гаманець, який працює на публічному блокчейні, може додати функцію для взаємодії цього додатка з іншими розподіленими додатками на цьому ж блокчейні, значно розширивши свою призначену для користувача базу. Варто відзначити, що публічні блокчейни дозволяють вирішити проблему передачі «товарів». Наприклад, якщо користувач А хоче продати домен користувачеві В, то вони

стикаються з певними труднощами. Якщо А передасть домен першим, то ризикує не отримати гроші, в іншому випадку — В ризикує не отримати «товар». Для вирішення цієї проблеми застосовуються посередники, що стягують відсотки за проведення транзакції.

Однак якщо блокчейн має систему доменних імен і валюту, то витрати скорочуються до нуля з використанням смарт-контракту. Перший відправляє програмі домен, а другий — гроші. Проблем не виникає, оскільки програма є довіреною, так як діє в публічному блокчейні.

Рішення на основі блокчейнів утворюють безпечний і природно децентралізований каркас для обробки транзакцій. Біткоїн-блокчейн в даний час є найбільш безпечним публічним блокчейном з точки зору вартості атак на систему. У загальнодоступному середовищі вартість атаки пропорційна винагороді творців блоків, що в разі біткоіна становить приблизно 2,1 млн доларів щодня. У той же час вартість підтримки безпеки порівняно невелика і формується за рахунок двох факторів: комісії за транзакції і контрольованою емісії грошової маси (близько 7 % в рік в 2016 році).

Одна з головних переваг блокчейнів в порівнянні з іншими моделями розподілених баз даних — це інтеграція обробки інформації, стеження за коректністю і безпеки в єдиний протокол, що мінімізує вплив людського фактора. Через юридичних і технічних причин установи, в яких задіяні фінансові системи обліку або реєстри, в середньостроковій перспективі можуть бути зацікавлені у використанні блокчейнів з обмеженим доступом до обробки транзакцій.

Що стосується публічних блокчейнів, то їх переваги (зокрема, їх прозорість і відкритість базових технологій і протоколів) можуть привести до

того, що технологія замінить багато функцій традиційних фінансових інститутів, змінивши принципи роботи фінансової системи.

6.3. Приватні блокчейни

Приватні блокчейни — це блокчейни, в яких створення блоків централізовано і всі права на проведення таких операцій належать одній організації. «Широка публіка» може лише читати інформацію — проводити аудит, управляти базами і іншими додатками здатні тільки довірені вузли.

При цьому приватні блокчейни мають певні переваги. По-перше, це низька вартість транзакцій, оскільки перевірка їх валідності проводиться довіреними і високопродуктивними вузлами замість десятків тисяч користувальницьких пристроїв, як у випадку з загальнодоступними мережами. По-друге, блокчейн можна налаштувати таким чином, що показник TPS (TPS — transactions per second) буде значно більшим, ніж у загальнодоступних мережах (принаймні, в найближчому майбутньому). Єдиним обмеженням в цьому випадку залишається пропускну здатність самого слабкого вузла в мережі.

Ще одною перевагою приватних блокчейнів може бути більший контроль над системою з боку компанії. Суть в тому, що приватний блокчейн дозволяє, наприклад, швидко оновлювати функціональність. Тому він привабливий для установ, що працюють з реєстрами і системами обліку, оскільки формує контрольоване і прогнозоване середовище, в порівнянні з загальнодоступними блокчейнами.

Більш того, створення блоків в приватному блокчейні часто не вимагає «доказів роботи» (proof-of-work). Як приклад можна привести протокол створення блоків, використовуваний в BitShares. Є встановлене число

обробників транзакцій N , кожен з яких володіє парою ключів — секретним і відкритим. Творці блоків відомі і визначаються по цифрового підпису в заголовку.

Оператори формують блоки по черзі через задані тимчасові інтервали. Порядок створення блоків або фіксований, або переміщується після повного циклу (N блоків). Якщо оператор не зміг сформувати блок у відведений йому час, то він пропускає раунд. Якщо така поведінка стало результатом зловмисників, то ситуація розслідується. Таким чином, якщо обробники транзакцій є єдиними споживачами даних блокчейна, можна побудувати надійний протокол створення блоків (наприклад, трохи ускладнивши наведений вище алгоритм), який не використовуватиме доказ роботи.

І хоча приватні блокчейни можуть і не використовувати доказ роботи, цей протокол все-таки може бути підключений для підвищення рівня захищеності, спрощення аудиту і, як результат, підвищення контролю над системою для кінцевих користувачів. По суті, доказ роботи переводить довіру до блокчейну з суб'єктивного (довіру до системи еквівалентно довірі до контролюючої його організації) до об'єктивного (довіра до системи впливає з математичних законів і гарантовано високої економічної вартості атаки на систему, яка не залежить від особистості атакуючого).

6.4. Блокчейн для бізнесу

У спрощеному варіанті мережу блокчейна можна визначити як децентралізовану систему для ефективного і безпечного обміну бізнес-активами. Загальна розподілена бухгалтерська книга забезпечує зберігання незмінних записів про операції з активами між учасниками мережі і реєструє

поточний (глобальний) стан цих активів. Бізнес-правила, яким підкоряються транзакції, кодуються в розумних контрактах або чейнкодах.

Замість перевірки транзакцій за участю центрального органу або надійного посередника, наприклад банку або брокерської фірми, учасники мережі блокчейна використовують механізм досягнення консенсусу, який забезпечує надійність, відстеження і прозорість в мережі. Для підвищення рівня конфіденційності учасники можуть приєднатися до одного або декількох каналів з ізоляцією даних; в цьому випадку застосовується бухгалтерська книга, загальна для всіх ідентифікованих учасників каналу.

Комерційна мережа блокчейну є колективною власністю групи ідентифікованих і верифікованих установ, наприклад підприємств або університетів. Всі учасники цієї контрольованої мережі відомі один одному. Технологія блокчейну лежить в основі мережі біткоїнів, однак біткоїн не відповідає вимогам комерційних організацій, так як є неконтрольованою мережею. Біткоїн знаходиться під управлінням спільноти учасників, до яких не пред'являються строгі вимоги ідентифікації. Крім того, в мережі біткоїнів відсутній ідентифікований склад власників.

6.5. Цілі і завдання Hyperledger

З часів створення мережі Інтернет, блокчейн став другим революційною технологією, здатною змінити світ.

Блокчейн відкриває величезні можливості для створення прозорих, захищених від фальсифікацій, бізнес-процесів, юридичних документів і фінансових операцій.

На думку розробників Hyperledger, ринки давно потребували інструменти, які здатні зробити простіше і дешевше процеси обміну даними, проведення фінансових транзакцій, процесів реєстрації та інших невід'ємних складових менеджменту і бізнесу.

Блокчейн, заснований на відкритому вихідному коді і децентралізації, може задовольнити цей запит на прозорість, достовірність і довговічність.

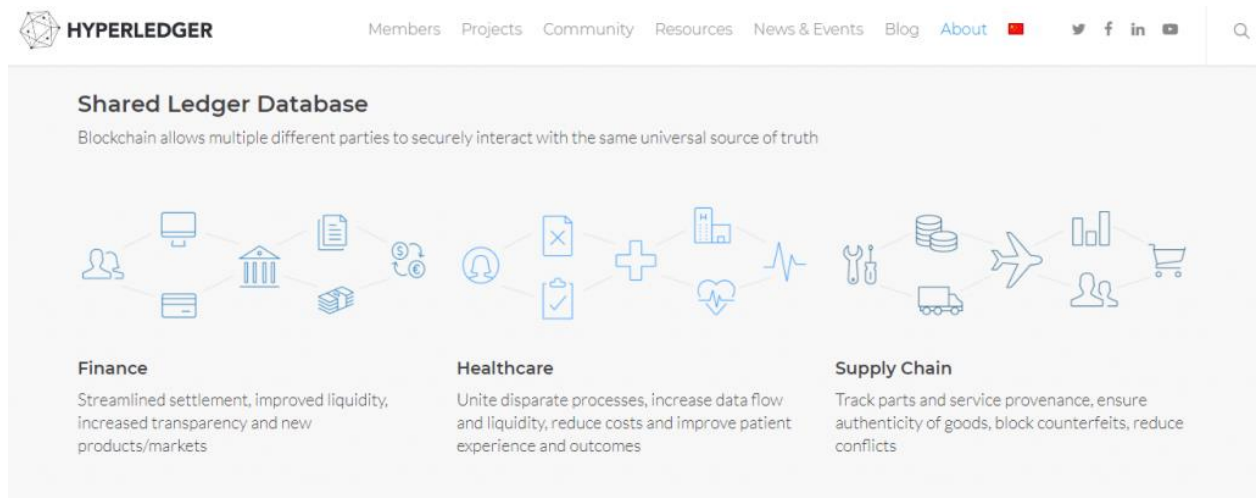


Рис. 6.2 Одні з можливих баз даних

У сфері фінансів застосування даної технології призводить до спрощення розрахунків, поліпшенню ліквідності, підвищенню прозорості та розвитку нових продуктів і ринків.

В області системи охорони здоров'я застосування технології блокчейн допомагає об'єднати розрізнені процеси, збільшити потік даних, що обробляється, знизити витрати і поліпшити якість обслуговування пацієнтів.

В системі логістики та поставок дозволяє відстежувати систему поставок товарів, джерела походження товарів, забезпечення їх справжності, блокування підробок, зниження конфліктних ситуацій.

Проект має на меті Linux Foundation — скоординувати зацікавлені сторони — розробників програмного забезпечення і компаній, що належать різним індустріям, на одному майданчику, а також сприяти розвитку міжгалузевого співробітництва. Це — технологічна платформа для впровадження blockchain і smart-контрактів в бізнес.

6.6. Офіційні цілі та завдання Hyperledger

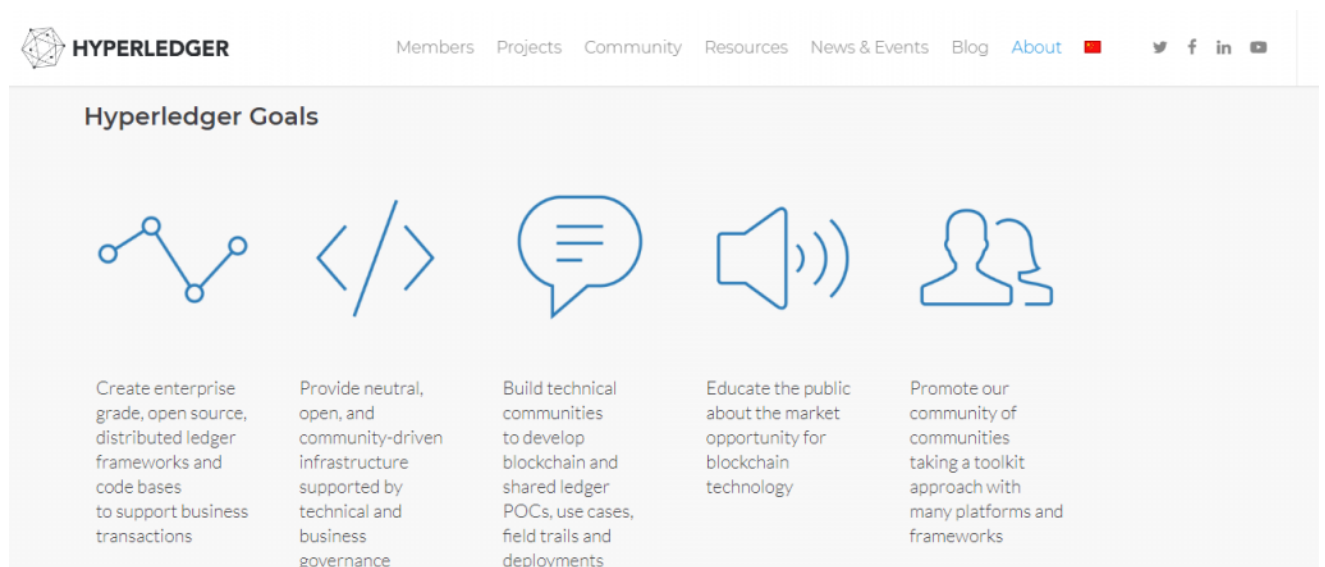


Рис. 6.3 Цілі та завдання Hyperledger

- створення корпоративних категорій, розподіленої бази даних з відкритим кодом для підтримки бізнес транзакцій;
- забезпечення нейтральної, відкритої і керованої спільнотою інфраструктури, підтримуваної технічним і комерційним управлінням;

- створення технічного співтовариства для розвитку блокчейн і розподілених баз даних;
- просвітницька робота про ринкові можливості технології блокчейн;
- просування ідей спільноти і сумісність інструментів з іншими платформами

6.7. Проекти під «парасолькою» Hyperledger

Hyperledger розвиває цілий ряд блокчейн-технологій для бізнесу, в тому числі, модулі розподілених баз даних, основи смарт-контрактів, клієнтські бібліотеки, графічні інтерфейси, інструменти для створення додатків.

«Парасолькова» стратегія від творців платформи дає можливість багаторазово використовувати загальні «будівельні блоки» і оперативно застосовувати інновації Distributed ledger technology (DLT).

В основі всіх проектів лежить модульна структура, що дозволяє в залежності від запитів користувачів додавати або прибирати необхідні модулі.

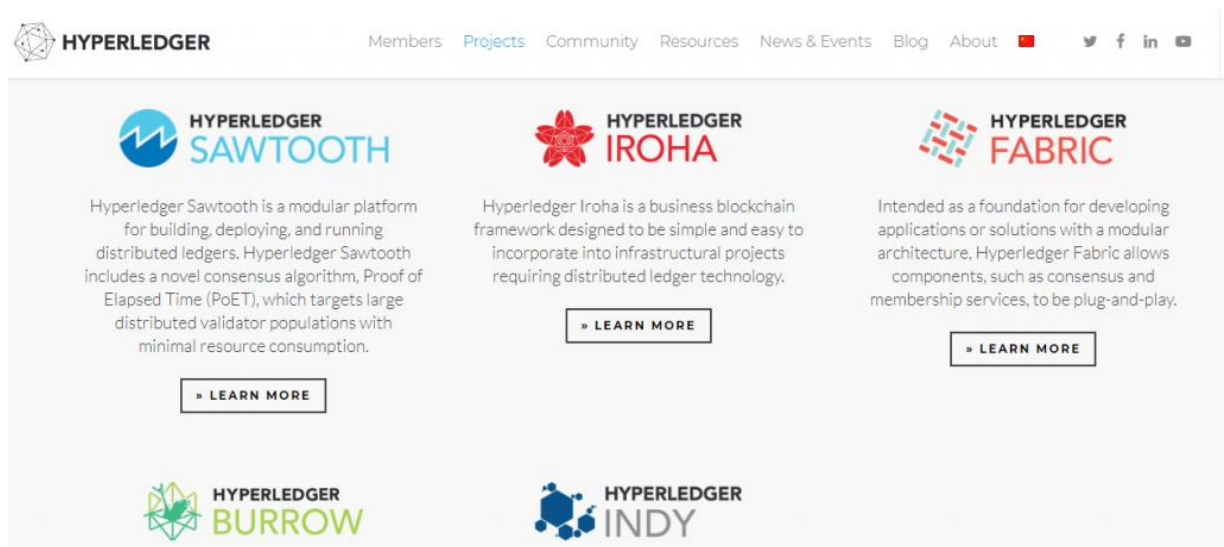


Рис. 6.4 Проекти Hyperledger

Hyperledger Sawtooth — це модуль для створення власних блокчейнів різними компаніями. Транзакції в даному проекті об'єднані в «сімейство транзакцій», що дає можливість виконувати операції по існуючим паттернам і структурам, і забезпечує найбільшу гнучкість. Hyperledger Sawtooth використовує новий консенсусний алгоритм — доказ минулого (витраченого) часу (PoET), для якого не потрібно спеціального устаткування великої потужності. Алгоритм ефективно працює на процесорах Intel.

Hyperledger Iroha — це реалізація технології блокчейн в інфраструктурні проекти. Iroha — розробка Soramitsu, Hitachi, NTT Data і Colu. Проект створює бібліотеки повторно використовуваних даних, такі, наприклад, як бібліотека хешування, бібліотека цифрового підпису, бібліотека серверів API і надає їх іншим проектам Hyperledger. Платформа досить проста і зрозуміла, використовує мову C++ і новий алгоритм узгодження Sumeragi.

Hyperledger Fabric — це платформа для створення публічних блокчейнів для бізнесу. З огляду на інтереси клієнтів, проект має надійну систему ідентифікації. Фабрик використовується для створення основи додатків або рішень з модульною архітектурою, до яких потім можуть бути приєднані інші компоненти. Особливу увагу в ньому приділено питанням підвищення надійності і масштабованості. Hyperledger Fabric представлена Digital Asset і IBM. Система дозволяє створювати захищені електронні реєстри, без можливості коригування даних, що особливо актуально в сфері фінансів та охорони здоров'я. Hyperledger Fabric використовує смарт контракти, які в даній мережі називаються «chaincode».

Проект Hyperledger Burrow розроблений Intel і Monax в 2014 році. Основна ідея — створити майданчик для створення смарт-контрактів для комерційних компаній. Барроу — це код, заснований на ефіріумі. Burrow надає перший, в своєму роді, клієнтський модуль блокчейна з інтерпретатором смарт-контрактів.

Hyperledger Indy дає можливість за допомогою набору інструментів багаторазового використання створювати незалежні цифрові ідентифікатори, що вбудовуються в блокчейн або інші розподілені реєстри для забезпечення сумісності.

6.8. Інструменти Hyperledger

На офіційному сайті представлені інструменти Hyperledger.

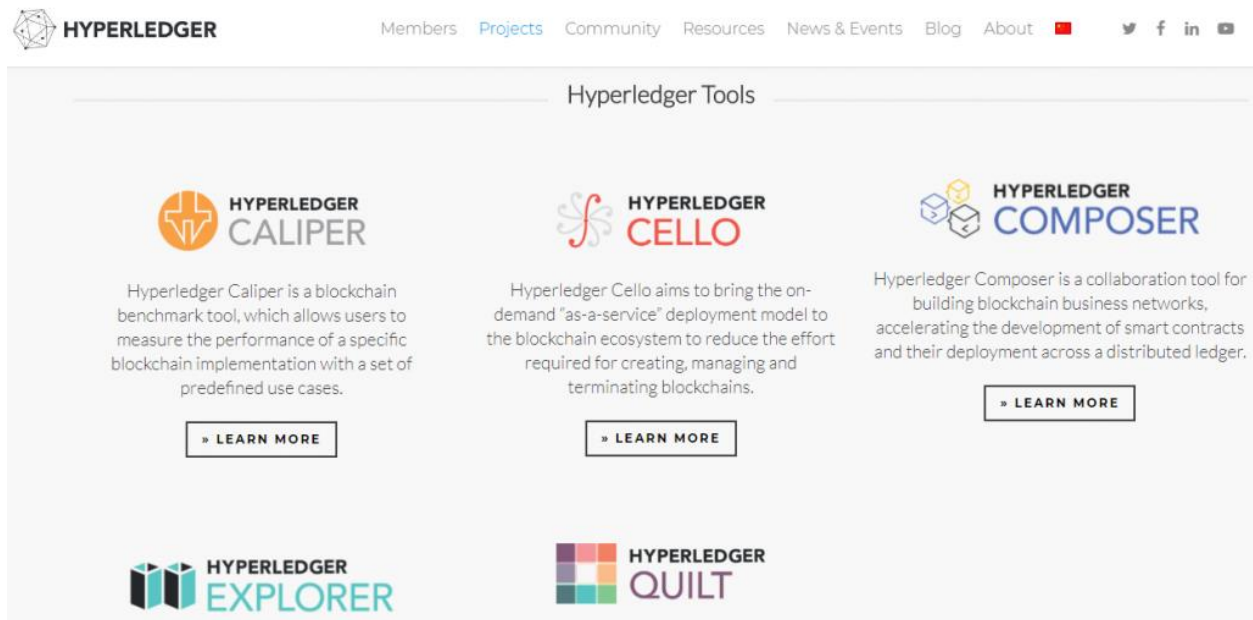


Рис. 6.5 Інструменти Hyperledger

Hyperledger Caliper призначений для тестування блокчейна, який дає можливість вимірювати продуктивність конкретного блок-ланцюга. Caliper здатний формувати звіти, що містять індикатори ефективності, наприклад, як TPS (транзакції в секунду), латентність транзакцій, використання ресурсів і т. п. Мета розробки даного інструменту — дати можливість користувачам оцінити і вибрати конкретний проект по заданих параметрах. Hyperledger Caliper був представлений розробниками з Huawei, Hyperchain, Oracle, Bitwise, Soramitsu, IBM і Будапештського університету технологій та економіки.

Проект Hyperledger Cello спрямований на розвиток екосистеми блокчейну. Даний інструмент підтримує набір мереж поверх різних інфраструктур, таких, як bare metal і інших контейнерних платформ. Проект представлений IBM при спонсорстві Soramitsu, Huawei і Intel.

Hyperledger Composer — це інструмент для розробки blockchain і smart контрактів для бізнесу, дозволяє створювати програми поверх Hyperledger Fabric.

Блокчейн-провідник Hyperledger Explorer — інструмент для дослідження блокчейну, створеного членами консорціуму. За допомогою провідника можна переглядати всю інформацію, що зберігається на блокчейні — транзакції, блоки і т.п.

Hyperledger Quilt забезпечує функціональну сумісність між системами реєстрів. Творці Hyperledger впевнені, що їх майданчик може стати базою для розвитку концепції блокчейну в різних проектах, з різними завданнями і фокусами розвитку.

6.9. Компанії, які використовують приватний блокчейн

Згідно з дослідженням компанії Deloitte, 59 % опитаних компаній сприймають блокчейн як революційну технологію, здатну трансформувати економіку і бізнес-процеси організації. 52 % компаній готові впроваджувати цю технологію.

Типові проблеми сфери логістики включають в себе багатоетапні ланцюжки поставок вантажів і відсутність прозорості на цих етапах. Такі проблеми можливо вирішити шляхом впровадження блокчейн- технології, застосування якої дозволяє забезпечити надійне, постійне зберігання даних і прозорий доступ до них.

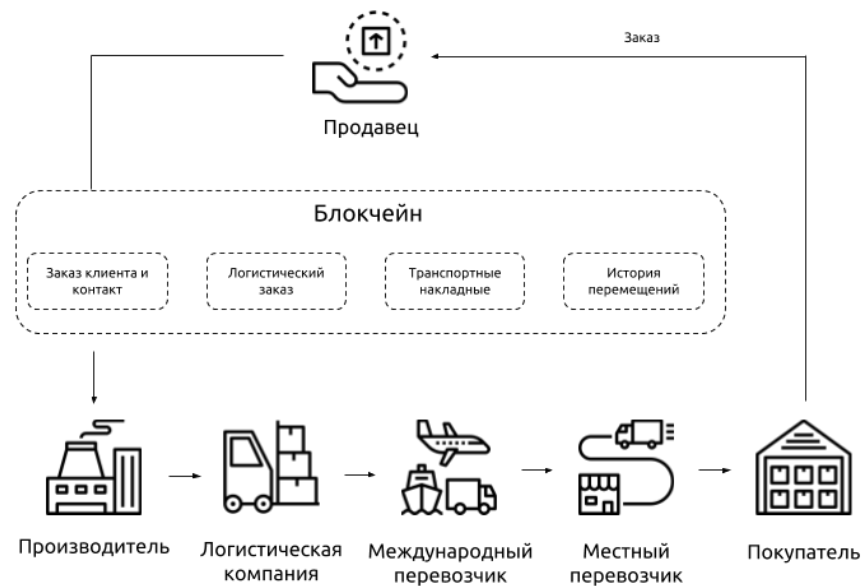


Рис. 6.6. Схема організації ланцюга поставок за допомогою блокчейн.

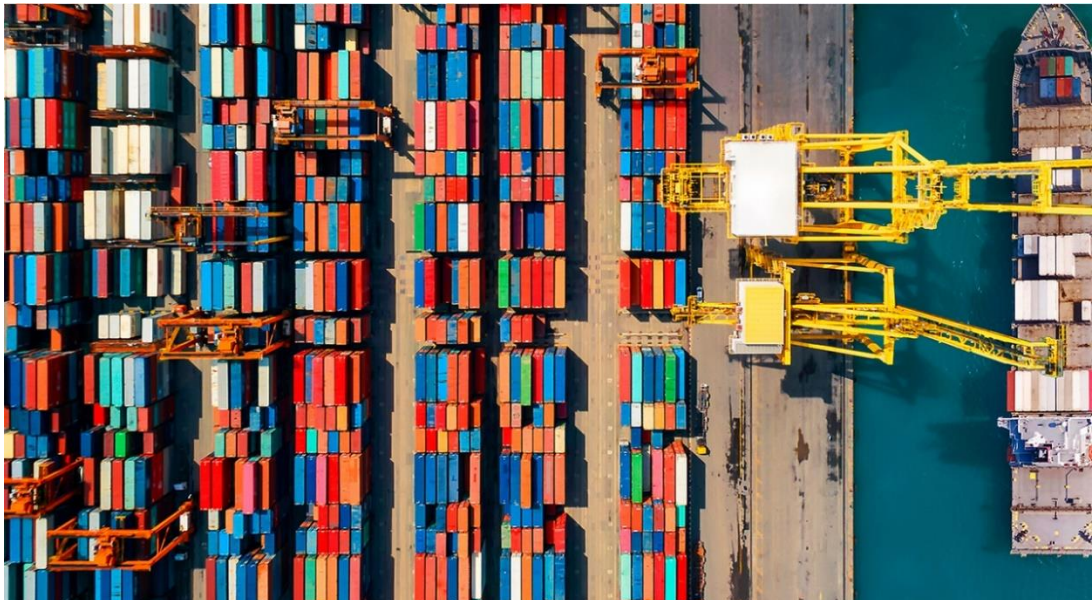
Нижче представлені проекти, які вже сьогодні використовують технологію блокчейн в сфері логістики:

- TradeLens
- IBM Food Trust

- Everledger
- Provenance
- Yojee

6.9.1. TradeLens

TradeLens — це спільний проект датської компанії Maersk, що спеціалізується на морських вантажних перевезеннях і IT-гіганта IBM є одним з найбільш показових прикладів застосування блокчейн в логістиці.



Платформа, створена в рамках проекту, отримала назву TradeLens і вже об'єднала понад 92 компаній-учасників.

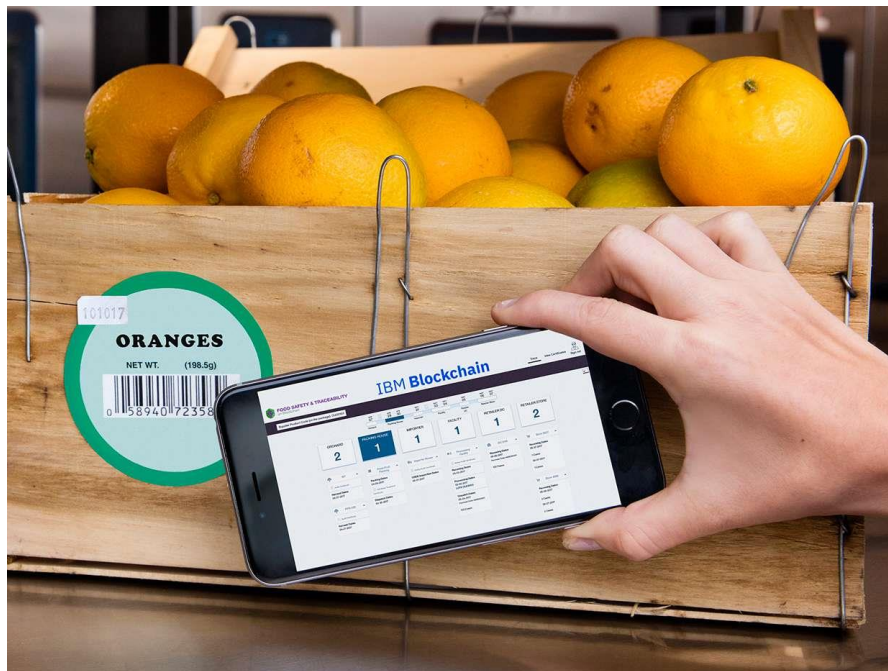
TradeLens дає користувачам можливість вести весь необхідний документообіг в цифровому форматі: всі сертифікати, які супроводжують і інші документи зберігаються в незмінному реєстрі, що значно спрощує аудит. Автоматизація бізнес-процесів досягається завдяки модулю торгових документів ClearWay, який функціонує за допомогою смарт-контрактів. У користувачів також є можливість інтегрувати TradeLens з інтернетом речей

(IoT) і відстежувати різні фізичні показники, наприклад вага вантажу або температуру в контейнері.

Лише під час тестування платформи було проведено понад 154 млн операцій на блокчейн, а транзитний час перевезень в США скоротилося на 40 %, що дозволило істотно зменшити витрати.

6.9.2. IBM Food Trust

Проект IBM Food Trust об'єднав 10 таких великих виробників і розповсюджувачів продуктів харчування як Dole, Driscoll's, Golden State Foods, Kroger, McCormick and Company, McLane Company, Nestlé, Tyson Foods, Unilever і Walmart.



 IBM Food Trust™

Система являє собою хмарне рішення, засноване на IBM Blockchain. Сервіс зберігає дані про більш ніж 1 мільйон продуктів харчування на блокчейн-платформі IBM і Hyperledger Fabric. IBM Food Trust використовує блокчейн і дає всім учасникам доступ до прозорого, постійного і розподіленого

реєстру записів про походження продуктів харчування, інформації про статус транспортування, поточний стан і багато іншого.

На даний момент на платформі було проведено понад 350,000 транзакцій. ІВМ відзначає, що використання блокчейн технології в рамках даної платформи скорочує витрати в середньому на 80 %.

6.9.3. Everledger

Компанія Everledger розробила проект для реєстрації інформації про алмази на блокчейн, метою якого є об'єднання всіх учасників галузі, включаючи виробників, розповсюджувачів і покупців.

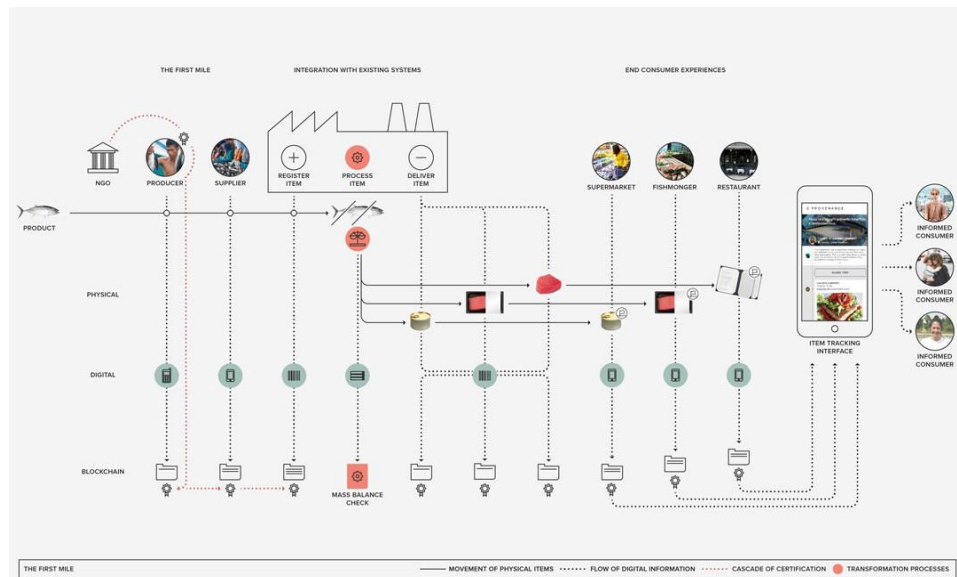


Глава компанії, Ліан Кемп, розповів, що вони практично створюють копію фізичного об'єкта на блокчейн. Реєстр зберігає інформацію про походження алмазу, кольорі, огранювання, прозорості, вазі в каратах, номері сертифіката і інше. Цінність даного підходу для кінцевих споживачів полягає в швидкому способі перевірки автентичності каменю. Everledger також співпрацює зі страховими компаніями.

Платформа розпочала роботу в 2015 році і вже зберігає інформацію про більш, ніж 1 мільйон алмазів. Також творці проекту планують застосовувати систему для запису інформації про інші предмети розкоші: вино, предмети мистецтва і інше.

6.9.4. Provenance

Ще одним успішним проектом є рішення стартапу Provenance, яке дозволяє відстежувати весь шлях продукту від виробництва до покупки.



Платформа дозволяє підприємствам зробити ланцюжок поставок більш прозорими і спрощує відстеження. Розроблені інструменти збирають зображення продукту, дані про його походження, положення і створюють профіль, в якому відображається вся необхідна інформація.

Компанія вже успішно працює з декількома організаціями. Об'єднавшись з Co-op, британською мережею продовольчих магазинів, Provenance впровадили рішення для відстеження продуктів від виробника до полиць

супермаркетів. В результаті кожен товар отримав "цифровий паспорт", що дозволило скоротити ризики, підвищити довіру покупців і підвищити ефективність бізнесу.

В ході 6-місячного проекту, Provenance об'єднали зусилля з індонезійськими рибалками, щоб забезпечити мітками спійману рибу і записати інформацію про продукцію на блокчейн. В результаті випробування істотно скоротився документообіг, вся інформація для повного відстеження продукції стала доступна на мобільних пристроях.

6.9.5. Yojee

Сінгапурська компанія Yojee розробила логістичну блокчейн-платформу, оснащену штучним інтелектом і машинним навчанням.



Платформа дозволяє вантажоперевізникам відстежувати стан замовлень в режимі реального часу, допомагає формувати рахунки, а штучний інтелект повністю замінює диспетчера і автоматично розподіляє замовлення між водіями.

Yojee вже працюють з 30 000 транспортними засобами та клієнтами з Сінгапуру, Австралії, Камбоджі та Індонезії. Генеральний директор компанії, Ед Кларк, стверджує, що завдяки платформі термін виконання замовлення зменшується від 2-3 днів до 1 дня.

6.10. Розробка «розумного» шару керування процесом отримання стабільного бензину за допомогою Hyperledger fabric

У представлений роботі запропоновано розробку «розумного» шару керування процесом отримання стабільного бензину за допомогою приватного блокчейну та smart-контрактів, схема транзакцій якого включає низку блоків, поєднаних між собою з метою взаємодії (рис. 2). На кожному кроці інформація заноситься у розподілений реєстр – блокчейн.

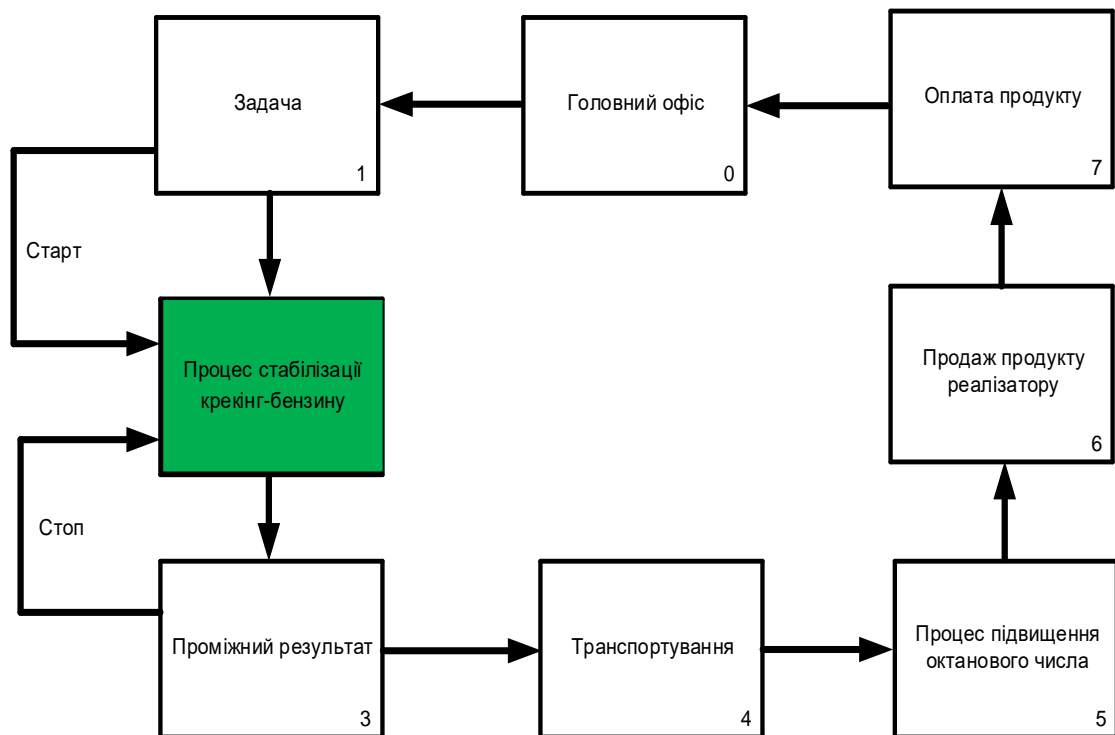


Рис. 6.7. Схема транзакцій у процесі отримання стабільного бензину

Блок 1 формулює задачу для виробництва на основі отриманого від блока 0 – головного офісу – завдання відповідно до укладеного *Smart*-контракту на виробництво певної кількості стабільного бензину з високим октановим числом і згідно з цим *Smart*-контрактом запускає виробництво.

Блок 2 забезпечує проходження процесу стабілізації заданої кількості крекінг-бензину.

Блок 3 фіксує отримання заданої кількості стабільного бензину. Всі дані заносяться у блокчейн.

Блок 4 контролює транспортування виробленого стабільного бензину на сусіднє підприємство для додавання необхідної композиції присадок та підвищення октанового числа.

Блок 5 забезпечує реалізацію процесу підвищення октанового числа та отримання кінцевого продукту. Всі дані заносяться у блокчейн.

Блок 6 здійснює продаж кінцевого продукту реалізатору.

Блок 7 (реалізатор) проводить оплату кінцевого продукту головному офісу (*Блок 0*). Всі дані заносяться у блокчейн.

Приклад коду smart-контракта на приватному блокчейні Hyperledger Fabric

```
orderer.example.com:
  container_name: orderer.example.com
  image: hyperledger/fabric-orderer
  environment:
    - ORDERER_GENERAL_LOGLEVEL=debug
    - ORDERER_GENERAL_LISTENADDRESS=0.0.0.0
    - ORDERER_GENERAL_GENESISMETHOD=file
    - ORDERER_GENERAL_GENESISFILE=/var/hyperledger/orderer/orderer.genesis.block
    - ORDERER_GENERAL_LOCALMSPID=OrdererMSP
    - ORDERER_GENERAL_LOCALMSPDIR=/var/hyperledger/orderer/msp
    # enabled TLS
    - ORDERER_GENERAL_TLS_ENABLED=true
    - ORDERER_GENERAL_TLS_PRIVATEKEY=/var/hyperledger/orderer/tls/server.key
    - ORDERER_GENERAL_TLS_CERTIFICATE=/var/hyperledger/orderer/tls/server.crt
    - ORDERER_GENERAL_TLS_ROOTCAS=[/var/hyperledger/orderer/tls/ca.crt]
  working_dir: /opt/gopath/src/github.com/hyperledger/fabric
  command: orderer
  volumes:
    - ../channel-artifacts/genesis.block:/var/hyperledger/orderer/orderer.genesis.block
    - ../crypto-config/ordererOrganizations/example.com/orderers/orderer.example.com/msp:/var/hyperledger/orderer/msp
    - ../crypto-config/ordererOrganizations/example.com/orderers/orderer.example.com/tls:/var/hyperledger/orderer/tls
  ports:
    - 7050:7050
```

Рис. 6.8. приклад коду smart-контракта на приватному блокчейні Hyperledger Fabric

У блокчейн після оцифрування можуть бути розміщені різні дані : різноманітні процеси, договори, ціни, кількість сировини, тривалість роботи відповідних виробництв для виготовлення необхідної кількості замовленого

продукту, режимні параметри технологічних процесів, проведені оплати та багато іншого – під певний процес.

Розроблений «розумний» шар керування процесом отримання стабільного бензину за допомогою Hyperledger fabric може бути використаний на будь-якому технологічному підприємстві України, Європи та світу. Я продовжую вивчення та розробку цього продукту для подальшого його впровадження на підприємствах.

7.1 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

7.1 Опис ідеї проекту

Створення боту, який буде надсилати повідомлення про аварійну ситуацію на ПК чи смартфон інженера для миттєвого реагування при керуванні процесом. Бот буде надсилати повідомлення при відхиленні параметрів процесу від зазначеного діапазону (температура в апараті пресу, тиск в апараті пресу, концентрація вуглецю в електродах на виході з пресу). В повідомленні буде текст – Попередження! Передаварійна ситуація температура в апараті пресу підвищилась до 1470 С (норма 1000-1450 С) та зображення графіку зміни даного параметру за останні 10 годин роботи апарату пресування. Повідомлення буде надсилатись на ПК чи смартфон, щоб інженер міг миттєво реагувати.

Цільова аудиторія – виробництва з реальними процесами. Інвестори – інжинірингові компанії, які займаються розробкою ПО для промисловості.

Конкуренти – SCADA системи. Такі як Trace Mode, WinCC.

Переваги – бюджетність, адаптивність до різних об'єктів, швидка розробка та встановлення.

Бюджет – 100 000 грн.

Куди витратити гроші – розробка бота, встановлення датчиків на об'єкті та підключення бота. Де шукати гроші – інтернет платформа startup.ua.

Команда – 4 людини (розробник боту, інженер для вивчення апарату процесу, інженер для дослідження виробництва, інженер з експлуатації).

7.2 Технологічний аудит ідеї

Таблиця 7.1. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Модернізація виробництва	Автоматизація процесу, передбачення аварій	Програма для автоматизації реального технологічного процесу з передбаченням аварійного режиму
2	Бюджетність	Низька ціна	Нижча ціна, ніж на існуючі програми з АСУТП.(Автоматизація систем управління технологічними процесами)
3	Автоматизація різних видів виробництва	Адаптивність до різних типів технологічних процесів	Адаптивність до різних технологічних процесів, можливість охопити декілька галузей виробництва.

Таблиця 7.2. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Опис базової потреби споживача, яку задовольняє товар (згідно концепції), її основної функціональної вигоди Модернізація виробництва та невеликі витрати для підприємства.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	МБ	Вр/Тх /Тл/
	1.Компактність	500 МБайт	50 000грн/Сучасний інтерфейс/Інформаційна безпека даних
	Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування тощо. Нульова похибка при відображенні процесу в реальному часі, коректна робота програми (тестування перед реалізацією)		
	Пакування - Марка: назва організації-розробника + назва товару Hoch chat-bot agency, chat-bot програма для АСУТП.		

III. Товар із підкріпленням	До продажу Знижка при замовлення повного пакету послуг Після продажу Технічна підтримка продукту
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Авторське право, торгова марка, секретний алгоритм інновації програмного забезпечення.	

Таблиця 7.3 Визначення меж встановлення ціни

п/п	Рівень цін на товари-замінники, грн	Рівень цін на товари-аналоги, грн	Рівень доходів цільової групи споживачів, грн	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу, грн
1	100 000-5000 000	250000 – 5000 000	3000000– 5000000	30 000 - 1000000

Таблиця 7.4 Формування системи збуту

п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту

1	Якісний продукт за мінімальну ціну	Маркетингові дослідження(попит споживачів) Встановлення безпосередніх контактів із споживачами та покупцями товарів. Стимулювання руху товарів до споживача, проведення рекламних заходів, розпродажу і т.п. Участь у плануванні асортименту. Фінансування витрат на функціонування каналу збуту, фінансування збутових операцій. Обслуговування проданих товарів.	Канал нульового рівня, або канал прямого маркетингу складається з виробника, який продає свій товар безпосередньо споживачам	Пряма система збуду продукції – безпосередньо споживачу продукції
---	------------------------------------	---	--	---

7.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 7.5 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
--------------------------------------	---	--

<p>1. Вказати тип конкуренції - монополія/олігополія/ монополістична/чиста</p>	<p>Монополістична. Різноманітність продукту та послуг у розробці ПЗ. Важливою є реклама, нецінові ознаки товару, що впливають на вибір клієнта. Легкий вхід нової фірми та легкий вихід з галузі ІТ.</p>	<p>Великий асортимент продукції та послуг з розробки програмного забезпечення, потужна реклама, акції та бонуси при замовленні послуг та доступність при відкритті нового підприємства.</p>
<p>2. За рівнем конкурентної боротьби - локальний/ національний/...</p>	<p>Національний. Велика кількість аутсорсингових компаній, які пропонують свої послуги у різних країнах.</p>	<p>Можливість продавати свій продукт та послуги не тільки в Україні, а й за кордоном.</p>
<p>3. За галузевою ознакою - міжгалузева/ внутрішньогалузева</p>	<p>Внутрішньогалузева. Галузь ІТ технологій має переваги, над іншими, адже стрімко розвивається зараз. Це проявляється і у фінансовій складовій і в трудових ресурсах і т.д. тому йде внутрішньогалузева конкуренція за потенційного клієнта та людські ресурси.</p>	<p>Залучення інвесторів у свій бізнес, набір висококваліфікованих кадрів в команду та реклама для потенційних клієнтів.</p>
<p>4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова - товарно-видова - між бажаннями</p>	<p>Товарно-родова. Різні шляхи задоволення потреб клієнта, а саме автоматизація виробництва може бути виконана різними шляхами(програма, чат-бот і т.д.)</p>	<p>Великий асортимент продукції та послуг з розробки програмного забезпечення та аргументи, чому той чи інший спосіб кращий для клієнта.</p>
<p>5. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова</p>	<p>Цінова. В сучасних умовах саме така конкуренція актуальна для більшості галузей.</p>	<p>Зниження цін на певні послуги, а саме в моєму стартапі представлення бюджетної програми чат-боту для виробництв.</p>

6. За інтенсивністю - марочна/не марочна	<p style="text-align: center;">Марочна.</p> <p>В галузі розробки ПЗ важливу роль відіграє торгова марка, адже реклама, її популярність та репутація на ринку є важливим критерієм у виборі потенційного клієнта.</p>	Розробка товарної марки та її популяризація за допомогою реклами.
--	---	---

Таблиця 7.6 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
аналізу	<p>Навести перелік прямих конкурентів –</p> <p>Vis-design, Inbot, In-create, Telebot, Evergreens і т.д.</p>	<p>Визначити бар'єри входу в ринок</p> <p>Легко увійти на ринок, але потрібно залучити інвесторів, що є не просто, представити свій продукт якісно та доцільно в сучасних умовах.</p>	<p>Визначити фактори сили постачальників</p> <p>Мої послуги-інтелектуальний продукт. Постачальниками можуть бути тільки комп'ютерне обладнання, яке досить широко представлене на сучасному ринку.</p>	<p>Визначити фактори сили споживачів</p> <p>Конкуренція, різноманітність послуг, ціни, реклама.</p>	<p>Фактори загроз з боку замінників</p> <p>Загрози є, адже може бути більш точний продукт, бюджетніший, менше енергозатратний, зкожним днем технології розвиваються</p>

Висновки:	Визначити інтенсивність конкурентної боротьби з боку прямих конкурентів Конкуренти інтенсивно використовують методи конкуренції(різноманітність продукції, реклама і т.д). Мій стартап представляє новий продукт, якого немає у конкурентів та ще є бюджетним в порівнянні з іншими послугами.	- чи є можливість входу в ринок? - чи є потенційні конкуренти? Строки виходу їх на ринок? Можливо увійти на ринок, якщо є потрібні кошти для цього. Потенційні конкуренти є, адже з кожним днем відкривається все більше нових технологій. Термін виходу на ринок – 1 рік.	Чи постачальники диктують умови роботи на ринку? Які? Постачальники диктують умови тим, що постійно модернізують комп'ютерне обладнання, що призводить до розробки нового ПЗ на різних операційних системах.	Чи клієнти диктують умови роботи на ринку? Які? Клієнти диктують умови роботи, а саме ціну, особливо в сучасних умовах не всі виробництва можуть автоматизувати процес на підприємстві або ж модернізувати його.	Обмеження для роботи на ринку через товари заміни Менше замовлень від клієнтів та менше інвестицій.
-----------	---	---	---	---	--

Таблиця 7.7 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Політична ситуація в країні	Складна політична ситуація зумовлює обмеження в галузі модернізації виробництва, виділення коштів для цього.
2.	Наявність конкурентів	Велика конкуренція, хоча ринок вийти легко, але залучити інвесторів та заслужити довіру у потенційних клієнтів не просто.
3.	Загальний рівень техніки та технологій	З кожним днем технології розвиваються і швидко з'являються нові послуги та продукти на ринку.
4.	Національний рівень підприємства	Можливість отримати інвестиції та замовлення від клієнтів з інших країн.

Таблиця 7.8 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Hoch chat-bot agency»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з Hoch chat-bot agency						
			3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Політична ситуація в країні	3				+			
2.	Наявність конкурентів	15				+			
3.	Загальний рівень техніки та технологій	18			+				
4.	Національний рівень підприємства	15			+				

7.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 7.9 Вибір цільових груп потенційних споживачів

п / п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
	Малі підприємства	Бюджетність та ефективність чат-боту допоможе малому підприємству модернізувати виробництво, такі підприємства готові до такого продукту.	Латентний попит, що тільки виявляється у вигляді невеликих замовлень.	Висока конкуренція	Увійти не легко, адже висока конкуренція

	Середні підприємства	Автоматизація частини виробництва або ж повністю всього технологічного процесу, підприємства готові до модернізації частини виробництва, до повністю автоматизації всього процесу в сучасних умовах не готові.	Повноцінний попит – на автоматизацію частини виробництва.	Невисока конкуренція.	Конкуренція менша, але інвестицій потребується більше.
	Великі підприємства	Автоматизація повністю всього виробництва, великі підприємства не готові до таких змін.	Попит, що постійно зменшується в зв'язку з політичною ситуацією.	Висока конкуренція	Увійти складно, великі інвестиції та висока конкуренція.

Таблиця 7.10 Визначення базової стратегії розвитку

№п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкуренто-спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
------	--------------------------------------	---------------------------	---	---------------------------

1	Великі об'єми замовлень	Співвідношення ціна -якість	Фірма здатна протистояти своїм прямим конкурентам навіть у разі цінової війни і в змозі отримувати прибуток при ціні, мінімально допустимій для конкурентів; сильні клієнти не можуть добитися зниження ціни нижче рівня, прийнятного для найбільш сильного конкурента.	Стратегія лідерства по витратах
2	Унікальні властивості продукту	Ринкове позиціонування	По відношенню до прямих конкурентів диференціація знижує ступінь заміності товару, посилює прихильність марці, зменшує чутливість до ціни і тим самим підвищує рентабельність; прихильність клієнтів послабляє їх тиск на фірму і перешкоджає приходу на ринок нових конкурентів.	Стратегія диференціації

Таблиця 7.11 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

п/п	Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
-----	--	--	---	----------------------------------

1	Так	Так	Так, буде копіювати розробку програми для технологічних процесів та адаптивність до різних типів процесів	Стратегія наслідування лідеру
2	Ні	Так	Ні	Стратегія заняття конкурентної ніші. Стратегія лідера

Таблиця 7.12 Визначення стратегії позиціонування

п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентно-спроможні позиції власного стартап-проект	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Бюджетність, якість, точність	Стратегія диференціації	Інновація, адаптивність, низька ціна, підходить для малого та середнього бізнесу.	Унікальні властивості продукту Адаптивність Бюджетність

7.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 7.13 Концепція маркетингових комунікацій

/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного зворотного зв'язу

	<p>Вибір оптимального партнера для модернізації виробництва, із співвідношенням «ціна-якість», хороша репутація торгової марки</p>	<p>Веб-сайти, youtube, Поради знайомих фахівців.</p>	<p>Бюджетність, унікальність, точність, адаптивність.</p>	<p>Повідомити про унікальну пропозицію модернізувати виробництво для оптимальної роботи + бонус знижка на тех.підтримку продукту</p>	<p>З нашим продуктом виробництва стане сучасним та продуктивнішим. Алгоритм + контроль =результат. Оптиміальність автоматизації процесів- вибір інженерів</p>
--	--	--	---	--	---

Програма просування мого стартапу:

1. Сайт компанії.
2. Налаштування контекстної реклами (індексація у пошукових системах).
3. Реклама в соц.мережах.
4. Реклама в youtube (ролики про чат боти, їх застосування та ефективність для підприємств).

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської дисертації було розглянуто технологічний процес стабілізації крекінг-бензину. Тема роботи: «Автоматизація конденсатора-холодильника у процесі стабілізації крекінг-бензину»

Для конденсатора-холодильника було створено математичну модель. Для конденсатора-холодильника синтезовано одноконтурну систему керування з ПД-регулятором.

Було розроблено «розумний» шар керування процесом отримання стабільного бензину за допомогою приватного блокчейну Hyperledger fabric. У блокчейн після оцифрування можуть бути розміщені різні дані: різноманітні процеси, договори, ціни, кількість сировини, тривалість роботи відповідних виробництв для виготовлення необхідної кількості замовленого продукту, режимні параметри технологічних процесів, проведені оплати та багато іншого – під певний процес. Мої напрацювання можуть бути використані на будь-якому технологічному підприємстві України, Європи та світу. Я продовжую вивчення та розробку цього продукту для подальшого його впровадження на підприємствах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. **Смидович Е. В.** Технология переработки нефти и газа. Крекинг нефтяного сырья и переработка углеводородных газов. Ч. 2. - М., Химия, 1980. – 64-65 с.
2. **Иванова Л.В.** , Корнеев И.И. , Юзбашев В.Н. Технология переработки нефти и газа. М., Химия, 1966, 419 с. 146-149 с.
3. **Бабіченко А.К., Тушинський В.І., Михайлов В.С.** Промислові засоби автоматизації. Ч. 1. Вимірювальні пристрої / За заг. ред. Бабіченка А.К.: Навч. посібник. - Харків: НТУ "ХПГ", 2001 р. - 82 с.
4. Робота з насосними установками пожежних автомобілів. Інтерактивні тренажери: Навч. посібник. / [А.Г. Ренкас, О.В. Придатко]. – Львів.: Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2007. – 84с
5. **Лесохин Е. И.** Теплообменники-конденсаторы в процессах химической технологии, 1990, 289 с.
6. **Жученко А. І.** Математичні моделі цифрових систем керування [Текст] : Навч. посібник / А. І. Жученко ; Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". - К. : [б.в.], 1997. - 238 с.
7. **Касаткин А.Г.** Основные процессы и аппараты химической технологи [Текст]: – Москва, 1988. – 432 с.
8. **Лукінюк М. В.** Технологічні вимірювання та прилади [Текст] : навч. посіб. для курсового проектування. – К.: Поліпарнас, 2002. – 242 с. : іл. – Бібліогр.: с. 241.
9. ДСТУ 7687:2015. Бензини автомобільні євро [Текст]. – Чинний від 28.05. 2015 р. – К.: Держстандарт України, 2015. – 15 с.
10. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, Д.В. Зеркалов, Р.В. Сабарно, О.І. Полукаров, В.С. Коз'яков, Л.О. Мітюк. За ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. – К.: Основа, 2006. – 448 с.
11. **Вяхірев А. І.** Постановка задачі автоматизації колони стабілізації у виробництві крекінг-бензину [Текст] / А. І. Вяхірев, М. В. Лукінюк // 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. 192. – Бібліогр.: в кінці тез. – С. 192. – 60 пр. – ISBN 978-966-622-826-3.
12. **Вяхірев А. І.** Використання приватного блокчейну та smart-контрактів для розробки «розумного» шару керування процесом [Текст] / А. І. Вяхірев, М. В. Лукінюк // Тези доповідей Дванадцятій науково-практичної конференції студентів. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 05–06 грудня 2018 р. [Електронний ресурс]. – 90 с. : іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – С. 9–11. – Режим доступу: [http://ahv.kpi.ua/conferences/ACIT-2018\(winter\).pdf](http://ahv.kpi.ua/conferences/ACIT-2018(winter).pdf) – вільний.
 13. **Кузнецов Д.М., Фокин В.П.** Процесс графитации углеродных материалов. Современные методы исследования / Д.М. Кузнецов, В.П. Фокин. – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2001. – 132 с.
 14. **Знамеровский В.Ю.** Методика исследования промышленных печей графитации / В.Ю. Знамеровский, Д.М. Кузнецов, В.А. Коцюр [и др.] // Промышленная энергетика. – 1988. – № 9. – С. 32–34.
 15. **Чалых А.Ф.** Графитация углеродистых материалов [Текст] / А.Ф. Чалых, В.П. Соседов – М.:Металургия, 1987 г. – 176 с. – Библиогр.: с. 176. – 1230 экз.
 16. **Зайцев В. Ф., Полянин А. Д.** Метод разделения переменных в математической физике [Текст] / В.Ф. Зайцев, А.Д. Полянин – СПб., 2009. – 92 с. – ISBN 978–5–94777–211–1. (СК_)
 17. **Лутков А.И.** Тепло- и электропроводность пересыпки при графитации / А.И. Лутков, В.Н. Михайлов, Б.К. Дымов // Цветные металлы. – 1975. – № 5. – С. 41–43.
 18. **Чичулин Н.И.** Теплоизолирующие материалы графитировочных печей / Н.И. Чичулин, М.Ф. Огнева, О.В. Мокрушина [и др.] // Совершенствование технологии и улучшение качества электродной продукции : Сб. научн. тр. – Челябинск : ГосНИИЭП, 1975. – Вып. 7. – С. 176–182.

19. **Гуревич Л.В.** Термодинамические свойства индивидуальных веществ:
Справочное издание в 4-х т. / Л.В. Гуревич, И.В. Вейц, В.А. Медведев [и др.]
– Т. 2 ; Кн. 1. – М. : Наука, 1979. – 440 с.
20. **Чарыкова Л.Н.** Зависимость теплопроводности сыпучих углеродистых материалов различного грансостава от температуры и давления / Л.Н. Чарыкова, Н.И. Чичулин, Е.И. Евсеев // Техника и технология графитированных электродов : Сб. научн. тр. – Челябинск : ГосНИИЭП, 1972. – Вып. 4. – С. 47–53.

ДОДАТКИ