

**ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет
Кафедра прикладної радіоелектроніки**

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
В.о. зав. кафедри
_____ Михайло СТЕПАНОВ
« » _____ 2022р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології
радіоелектронної техніки»**

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**на тему: « Інтелектуальна система контролю та управління виробничими
процесами»**

Виконав (-ла):
студент (-ка) 2 курсу, групи РЕ-11мп

_____ Вінковатов Максим Андрійович



Керівник:
_____ Мосійчук Віталій Сергійович



Рецензент: _____ Гусєва Олена Володимирівна



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

Студент (-ка)



Київ – 2022 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет
Кафедра прикладної радіоелектроніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.зав. кафедри

_____ Михайло СТЕПАНОВ

« » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студента
Вінковатов Максим Андрійович

1. Тема дисертації «Інтелектуальна система керування та управління виробничими процесами».

науковий керівник дисертації Мосійчук Віталій Сергійович, Доцент.

затверджені наказом по університету від «09» листопада 2022 р. №4137-С

2. Термін подання студентом дисертації 11 грудня 2022 року

3. Об'єкт дослідження технологічний процес виготовлення соку

4. Вихідні дані Концентрація на виході 4%, Концентрація в другому потоці 9%, Концентрація в першому потоці 0.3 %, Витрата другого потоку, Витрата першого потоку, Об'єм розчину.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Дослідити технологію виробництва соку, синтезувати систему керування проточною ємністю для змішування, розробити систему моніторингу та контролю даних технологічного об'єкта.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу _____

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

9. Дата видачі завдання 05 вересня 2022 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання теми магістерської дисертації	05.09.2022р.	
2	Розробка плану магістерської дисертації	10.09. 2022р.	
3	Початок збору інформації для дослідження	24.09.2022р.	
4	Аналіз процесу виробництва соку	25.10.2022р.	
5	Розробка математичної моделі проточної ємності	15.11.2022р.	
6	Синтез системи керування	25.11.2022р.	
7	Побудова системи моніторингу та контролю даних	3.12.2022р.	
	Оформлення магістерської дисертації	09.12.2022р.	

Студент

Максим ВІНКОВАТОВ



Науковий керівник

Віталій МОСІЙЧУК



Реферат

Дипломний проект містить пояснювальну записку об'ємом 87 сторінок, 46 рисунків та 11 літературних джерел.

Метою проекту є розроблення інтелектуальної системи керування та управління виробничим процесом виробництва соку, яка забезпечить отримання якісного продукту що відповідає заданому регламенту відповідно до держстандартів та світових нормативів.

У дипломному проекті синтезовано систему керування та моніторингу процесу виробництва соку.

Основним апаратом в процесі виробництва соку виступає проточна ємність. Для неї була розроблена математична модель, розрахований статичний та динамічний режими роботи і побудовані відповідні характеристики за каналами керування та збурення. Виконано синтез системи керування за допомогою методів нечіткої логіки в спеціальному додатку MATLAB. Також була створена система моніторингу задля контролю перебігу процесу виробництва та запобігання аварійних ситуацій.

Ключові слова: проточна ємність, математична модель, передавальна функція, канал керування.

Abstract

The diploma project contains an explanatory note of 87 pages, 46 figures and 12 references.

The aim of the project is to develop an intelligent control and management system for the production process of juice production, which will ensure the production of a quality product that meets the specified regulations in accordance with state standards and international standards.

In the diploma project the control and monitoring system of juice production process is synthesized.

The main apparatus in the process of juice production is a flow tank. A mathematical model was developed for it, the static and dynamic modes of operation were calculated and the corresponding characteristics of the control and disturbance channels were built. The synthesis of the control system was performed using fuzzy logic methods in a special MATLAB application. A monitoring system was also created to control the production process and prevent emergencies.

Keywords: flow tank, mathematical model, transfer function, control channel.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА СОКУ	9
1.1 Огляд цільової продукції	9
1.2 Аналіз поживних властивостей соку	17
1.3 Основні стадії сокопакувального процесу	21
1.4 Аналіз системи змішування	25
1.5 Постановка задачі до магістерської дисертації.....	29
2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОТОЧНОЇ ЄМНОСТІ ЯК ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ	30
3. СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОТОЧНОЇ ЄМНОСТІ	40
3.1 Пояснення для створення нечіткої системи керування	40
3.2 Формування лінгвістичних змінних	40
3.3 Продукційні правила нечіткої системи керування	45
3.4 Синтезування системи керування проточною ємністю	57
4. ПОБУДОВА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА КОНТРОЛЮ ДАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТА	60
5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	75
5.1 Опис ідеї стартап-проекту	75
5.2 Аналіз зовнішнього маркетингово середовища. Аналіз факторів макроркетингового середовища	76
5.3 Загальний аналіз стартап-ідеї.....	81
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	86
ЛІТЕРАТУРА	87

ВСТУП

Протягом останніх кількох десятиліть спостерігається зростаюча тенденція до збільшення доданої вартості сільськогосподарської сировини. По мірі того, як населення ставало все більш урбанізованим, ця тенденція прискорила. Потреба в стабільних, зручних продуктах харчування зросла.

Технологія виробництва соків варіюється від приватних осіб, до багатонаціональних конгломератів з декількома взаємопов'язаними заводами високої потужності та лініями сокової продукції, що задовольняють глобальний попит.

Через брак продукції або невідповідності якості вихідного продукту, виробничі процеси доводиться призупиняти, в результаті чого виробництво отримує значні збитки. Алгоритми нечіткої логіки дозволяють вчасно попереджати технологів про проблему яка виникає на виробництві для вчасного втручання, задля уникнення простою виробництва.

Метою роботи є розробка інтелектуальної системи контролю та управління виробничими процесами.

Для досягнення цієї мети поставлені такі **задачі**:

- Проаналізувати процес виробництва соку;
- Провести математичне моделювання об'єкту керування;
- Провести синтез системи керування проточної ємності;
- Провести побудову системи моніторингу та контролю даних технологічного об'єкта;
- Розробити план стартап-ідеї;

Об'єктом дослідження є процеси контролю та управління виробничими процесами.

Предметом дослідження є система контролю та управління виробництвом натурального соку .

Методи дослідження. Аналіз джерел, методи формування нечіткої логіки.

Практичне значення. Підвищення якості продукції шляхом контролю параметрів виробничих процесів, профілювання параметрів виробництва соку у часі.

1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА СОКУ

1.1 Огляд цільової продукції

Фруктовий сік – це неферментована, але здатна до ферментації рідина, отримана з їстівної частини здорових, відповідним чином зрілих та свіжих фруктів або фруктів, які зберігаються в доброму стані за допомогою відповідних засобів, включаючи обробку поверхні після збору врожаю.

Деякі соки можуть оброблятися з кісточками, насінням та шкіркою, які зазвичай не входять до складу соку, але деякі частини або компоненти кісточок, насіння та шкірки, які не можуть бути видалені за допомогою належної виробничої практики, будуть прийнятними.

Сік готується за допомогою відповідних процесів, які підтримують основні фізичні, хімічні, органолептичні та поживні характеристики соку фруктів, з яких він отриманий. Сік може бути каламутним або прозорим і може мати відновлені ароматичні речовини та леткі смакові компоненти, всі з яких повинні бути отримані відповідними фізичними засобами, і всі вони повинні бути отримані з одного і того ж виду фруктів. М'якоть і клітини отримані відповідними фізичними методами з того ж виду фруктів, можуть бути додані.

Одиничний сік отримують з одного виду фруктів. Змішаний сік отримують шляхом змішування двох або більше соків або соків та пюре з різних видів фруктів.

Фруктовий сік отримують наступним чином:

1. Фруктовий сік, безпосередньо виражений механічними процесами екстракції.
2. Фруктовий сік з концентрату шляхом відновлення концентрованого фруктового соку з питною водою, яка відповідає відповідним критеріям.
3. Фруктове пюре для використання у виробництві фруктових соків та нектарів

4. Концентроване фруктовое пюре для використання у виробництві фруктових соків та нектарів

5. Фруктовий нектар

Концентрований фруктовий сік – продукт, який відповідає визначенню наведеному вище(пункт 1), за винятком того, що вода була фізично видалена в кількості, достатній для підвищення рівня Брікса до значення, щонайменше на 50 більше від значення Брікса, встановленого для відновленого соку з тих самих фруктів.

Під час виробництва соку, що підлягає концентруванню, застосовуються відповідні процеси, які можуть поєднуватися з одночасною дифузією клітин м'якоті або фруктової м'якоті водою за умови, що екстраговані водою розчинні фруктові тверді речовини додаються в первинний сік в потоці перед процедурою концентрування.

Концентрати фруктових соків можуть містити відновлені ароматичні речовини та леткі ароматичні компоненти, всі з яких які повинні бути отримані відповідними фізичними засобами, і всі вони повинні бути відновлені з одного і того ж виду фруктів. Допускається додавання м'якоті та клітковини, отриманих відповідними фізичними методами з того ж виду фруктів.

Концентроване фруктовое пюре для використання у виробництві фруктових соків та нектарів отримують шляхом фізичного видалення води з фруктового пюре в кількості, достатній для підвищення рівня Брікс до значення, щонайменше на 50% більше, ніж значення Брікс, встановлене для відновленого соку з тих самих фруктів. Концентроване фруктовое пюре може мати відновлені ароматичні речовини та леткі смакові компоненти, всі які повинні бути отримані відповідними фізичними засобами, і всі вони повинні бути відновлені з того самого виду фруктів.

Фруктовий нектар – це незброжений, але здатний для бродіння продукт, отриманий шляхом додавання води з або без додавання цукру, та/або :сиропів, харчових підсолоджувачів, перелічених у загальному стандарті для харчових добавок до продуктів зазначених у пунктах (1,2,3,4,5) або до суміші

цих продуктів. Ароматичні речовини, леткі ароматичні компоненти, м'якоть і клітини, які повинні бути отримані з одного виду фруктів і можуть бути додані відповідними фізичними засобами. Змішаний фруктовий нектар отримують з двох або більше різних видів фруктів.

Таблиця 1.1 – Мінімальний рівень Вгіх для відновленого соку та відновленого пюре та мінімальний вміст соку та/або пюре для фруктових нектарів при 20*(градусів)

Назва фрукту	Мінімальний рівень Вгіх для відновлених фруктових соків та відновлених пюре	Мінімальний відсоток соку та/або пюре для фруктових нектарів
Кеш'ю	11.5	25.0
Ананас	12.8 Визнано, що в різних країнах рівень Вгіх може природно відрізнятися від цього значення. У випадках, коли рівень Брікса є стабільно нижчим ніж це значення, відновлений сік нижчого рівня Брікс з цих країн, введених в міжнародну торгівлю, буде прийнятним за умови, що він відповідає методології визначення автентичності перерахованої в Загальному стандарті для фруктових соків і нектарів і рівень буде не нижче 10° Вгіх для ананасового та яблучного соку.	40.0
Анона	14.5	25.0
Цукрове яблуко	14.5	25.0
Карамболь	7.5	25.0

Продовження Таблиці 1.1

Назва фрукту	Мінімальний рівень Вгіх для відновлених фруктових соків та відновлених пюре	Мінімальний відсоток соку та/або пюре для фруктових нектарів
Арбуз	8.0	40.0
Лайм	8.0	Відповідно до законодавства країни-імпортера
Лимон	8.0	Відповідно до законодавства країни-імпортера
Грейфрут	10.0	50.0
Світі	10.0	50.0
Мандарин	11.8	50.0
Апельсин	<p>11.8-11.2 узгоджується із застосуванням національного законодавства країни-імпортера, але не нижче 11.2</p> <p>Визнано, що в різних країнах рівень Вгіх може природно відрізнятися від цього значення. У випадках, коли рівень Брікса є стабільно нижчим ніж це значення, відновлений сік нижчого рівня Брікс з цих країн, введених в міжнародну торгівлю, буде прийнятним за умови, що він відповідає методології визначення автентичності перерахованої в Загальному стандарті для фруктових соків і нектарів і рівень буде не нижче 10° Вгіх для ананасового та яблучного соку.</p>	50.0
Кокос	5.0	25.0
Диня	8.0	35.0

Продовження Таблиці 1.1

Назва фрукту	Мінімальний рівень Brix для відновлених фруктових соків та відновлених пюре	Мінімальний відсоток соку та/або пюре для фруктових нектарів
Касабська диня	7.5	25.0
Медова диня	10.0	25.0
Айва	11.2	25.0
Чорна водяника	6.0	25.0
Суринамська Вишня	6.0	25.0
Інжир	18.0	25.0
Полуниця	7.5	40.0
Геніпа	17.0	25.0
Обліпіха	6.0	25.0
Лічі	11.2	20.0
Томати	4.0	50.0
Індійська Вишня	4.5	25.0
Яблуко	11.5 У випадках, коли рівень Брікса є стабільно нижчим ніж це значення, відновлений сік нижчого рівня Брікс з цих країн, введених в міжнародну торгівлю, буде прийнятним за умови, що він відповідає методології визначення автентичності перерахованої в Загальному стандарті для фруктових соків і нектарів і рівень буде не нижче 10% Brix для ананасового та яблучного соку.	50.0

Продовження Таблиці 1.1

Назва фрукту	Мінімальний рівень Вгіх для відновлених фруктових соків та відновлених пюре	Мінімальний відсоток соку та/або пюре для фруктових нектарів
Креби	15.4	25.0
Манго	13.5	25.0
Питайя	12.0	25.0
Фінік	18.5	25.0
Абрикос	11.5	40.0
Черешня	20.0	25.0
Вишня	14.0	25.0
Слива	12.0	50.0
Чорнослив	18.5	25.0
Тернослива	12.0	25.0
Нектарин	10.5	40.0
Персик	10.5	40.0
Тергн	6.0	25.0
Гуава	8.5	25.0
Гранат	12.0	25.0
Груша	12.0	40.0
Чорна смородина	11.0	30.0
Червона смородина	10.0	30.0
Біла смородина	10.0	30.0
Агрис	7.5	30.0

Продовження Таблиці 1.1

Назва фрукту	Мінімальний рівень Вгіх для відновлених фруктових соків та відновлених пюре	Мінімальний відсоток соку та/або пюре для фруктових нектарів
Шипшина	9.0	40.0
Морошка	9.0	30.0
Ожина	9.0	30.0
Малина	10.0	25.0
Червона малина	8.0	40.0
Логанова малина	10.5	25.0
Чорна малина	11.1	25.0
Бойзенова ягода	10.0	25.0
Молода малина	10.0	25.0
Стара Малина	10.5	50.0
Рябина	11.0	30.0
Момбин	10.0	25.0
Імбу	9.0	25.0
Тамаринд	13.0	Достатній вміст для того, щоб досягти мінімального рівня кислотності 0,5
М'якоть какао	14.0	50.0
Купуасу	9.0	35.0
Клюква	7.5	30.0
Голубика	10.0	40.0
Брусника	10.0	25.0
Виноград	16.0	50.0

Для фруктових соків прямого віджиму рівень Брікс повинен відповідати рівню Брікс, отриманому з фруктів, а вміст розчинних твердих речовин у соку однієї міцності не повинен змінюватися, за винятком змішування з соком того ж виду.

Приготування фруктового соку, що вимагає відновлення концентрованих соків, повинно відповідати мінімальному рівню Brix, за винятком твердих речовин будь-яких доданих необов'язкових інгредієнтів та добавок, що додаються за бажанням. У випадку соку, не зазначеного в таблиці 1.1, маркований відсотковий вміст цього соку від концентрату в соку або соковому напої повинен бути розрахований на основі моно смакового соку, використаного для виробництва такого концентрату. Таким чином, початковий вміст розчинних сухих речовин в соку або величина Brix визначає межі відновлення.

1.2 Аналіз поживних властивостей соку

Основним компонентом соків є вода, яка виконує багато важливих функцій в організмі і, перш за все, є основним компонентом кожної нової клітини і тканини, вона є відмінний розчинник, бере участь в терморегуляції і відіграє захисну і зволожуючу роль. У свіжовичавлених соках і напоях її вміст знаходиться в межах 85-100%, тому вони можуть бути джерелом води в щоденному раціоні харчування. Наступною поживною речовиною, яка міститься у соках у високих кількостях, є вуглеводи. Залежно від виду, соки містять від 2,7 г до 15,8 г вуглеводів у 100 мл продукту, а їх калорійність коливається від 18 ккал/100 мл до 67 ккал/100 мл відповідно. Завдяки відносно високим вмістом простих цукрів у соках рекомендується вживати не більше однієї склянки цього продукту на добу. Білки і жири присутні в дуже невеликій кількості, при цьому деякі овочеві та сирі соки містять відносно велику кількість харчових волокон. Овочеві соки забезпечують більше поживних речовин, і в той же час є менш калорійними, оскільки містять набагато менше вуглеводів, в основному простих цукрів, ніж фруктові соки. Соки є гарним урізноманітненням і доповненням щоденного раціону. У таблиці 1.2 наведено енергетичну цінність та вміст окремих макроелементів та харчових волокон у соках.

Таблиця 1.2 - Енергетична цінність [ккал], вміст окремих макроелементів [г] та харчових волокон [г] у соках на 100 грам продукту

Тип соку	Енергетична цінність	Протеїн	Жир	Вуглеводи	Харчові волокна
Грейпфрут	40	0.5	0.1	9.1	0.1
Яблуко	41	0.1	0.1	10.0	0.0
Морква	45	0.4	0.1	10.0	1.3
Апельсин	43	0.6	0.1	9.8	0.1

Вміст вітамінів у свіжовичавлених соках трохи нижче, ніж вміст цих інгредієнтів у свіжих овочах і фруктах, тому порцію соку можна вважати хорошим джерелом цих інгредієнтів в раціоні харчування. Деякі фруктові, овочеві або фруктові-овочеві соки, особливо свіжовичавлені, можуть бути хорошим джерелом окремих вітамінів. Прикладами можуть бути соки, багаті на вітамін С, такі як грейпфрутовий, апельсиновий або томатний сік. Грейпфрутовий сік забезпечує 76 мг вітаміну С в 200 г, а середня потреба у цьому вітаміні для жінок старше 19 років становить 60 мг на людину в день. У таблиці 1.3 наведено вміст вітаміну С у 100 г грейпфрутового соку. Більше половини потреби, оскільки 33 мг вітаміну С покривається 200 г томатного соку, в 100 г його міститься 16,5 мг (див.табл. 1.3). Рекомендована кількість вітаміну С слід споживати щодня, оскільки організм людини зовсім не синтезує його і зберігається в незначній мірі. Овочеві та фруктові-овочеві соки, особливо морквяний та морквяний соки, багаті на вітамін А, або власне вітамін А провітамін, який визначається як каротиноїди, що міститься в рослинній сировині. Вітамін А відіграє важливу роль у правильному функціонуванні імунної системи, в процесах поділу та диференціації клітин, а також в диференціації клітин, а також у процесі зору. Крім того, вітамін А, і зокрема β-каротин, проявляє сильні антиоксидантні властивості. У таблиці 1.3 представлено вміст окремих вітамінів у соках.

Таблиця 1.3 - Вміст окремих вітамінів у соках на 100 грамів продукту

Тип соку	Віт.А	Каротин	Вітамін Е	Тіамін	Рібофлавін	Ніацин	Віт.С
Грейпфрут	1	6	0.19	0.04	0.02	0.20	38.0
Яблуко	2	12	0.01	0.01	0.006	0.03	2.3
Морква	580	3478	0.18	0.02	0.019	0.16	1.2
Апельсин	13	78	0.10	0.06	0.030	0.3	43.1

Багато овочів, а отже і соки з них, є хорошим джерелом калію. Багатими на калій є, серед інших помідори, червоний буряк, шпинат, морква, капуста. Калій необхідний для правильного функціонування клітин організму. Відповідає за підтримання належного водно-електролітного водно-електролітного балансу організму шляхом регулювання осмотичного тиску клітин, а також за правильну роботу серця. Його дефіцит в щоденному раціоні може призвести до підвищеного ризику розвитку таких захворювань, як гіпертонія, інсульт, ішемічна хвороба серця. Помідори містять 282 мг калію на 100 г. Ця кількість калію покриває лише близько 8% норми на рівні достатнього споживання цього інгредієнта. Що стосується порції соку (200 г), то після перерахунку виходить, що вона покриває в цілому приблизно 15% норми цього інгредієнта. Магній - один з найважливіших мінералів. Він бере участь в утворенні білків, м'язових скороченнях, а також регулює кров'яний тиск і впливає на нервову систему. Магній міститься в хлорофілі, саме тому зелені овочі містять його більше і можуть бути його джерелом. Середня потреба в магнії для жінок у віці від 19 до 30 років становить 255 мг/людину/добу, а для жінок старше 30 років - 265 мг/особа/добу. Склянка мультиовочевого соку забезпечує 24 мг магнію, що становить близько 10% добової потреби в цьому інгредієнті. Соки містять відносно мало заліза, до того ж у негемовій формі, яка має низьку біодоступність, але висока кількість аскорбінової кислоти в соках підвищує його засвоєння. Крім вищезазначених мінеральних речовин, соки містять також кальцій, натрій та фосфор.

Таблиця 1.4 - Вміст окремих мінеральних речовин у соках

Тип соку	Натрій	Калій	Кальцій	Фосфор	Магній	Залізо
Грейпфрут	1	102	11	9	8	0.1
Яблуко	2	110	9	6	5	0.2
Морква	29	99	13	11	6	0.2
Апельсин	2	175	8	14	11	0.4

Фолати - ще один вітамін, який міститься в деяких фруктах та фруктових соках (цитрусові, ананасовий та полуничний). Він допомагає підтримувати низький рівень амінокислоти гомоцистеїну, маркера запалення, який був пов'язаний з більш високим ризиком серцевих захворювань, інсульту та серцевої недостатності. Фруктові та овочеві соки дуже складні, складаються з сотень речовин. Особливо в клінічній області, соки можуть відігравати певну роль у захворюваннях, пов'язаних з хронічним запаленням, раком, серцевими та кістковими захворюваннями, проблемами, пов'язаними з захворюваннями серця і кісток, проблемами, пов'язаними з старінням, і, можливо, резистентністю до інсуліну. Фруктові соки, що вживаються в помірних кількостях як частина збалансованої дієти рекомендують як для зміцнення здоров'я, так і зниження ризику захворювань. Можна припустити, що основна роль фруктів і фруктових соків полягає в зниженні ризику захворювань.

1.3 Основні стадії сокопакувального процесу

Зазвичай завод з розливу соків призначений для переробки та пакування різноманітних фруктових соків та безалкогольних напоїв на основі соків. Обладнання, описане в цьому розділі, використовується не тільки для переробки апельсинового соку. Однак коментарі, зроблені щодо вимог до обладнання та його продуктивності, стосуються саме апельсинового соку.

Технологічна лінія, починаючи з прийому сировини і закінчуючи продуктом, що потрапляє до наповнювача, включає в себе ряд етапів. Необхідні кроки залежать від типу сировини та продукту, що виробляється. На рис.1.1 показано технологічні етапи виробництва апельсинового соку з замороженого апельсинового концентрату як сировини (лінії 1 і 2). Підготовка інгредієнтів для виробництва апельсинового нектару та фруктових напоїв також включена.

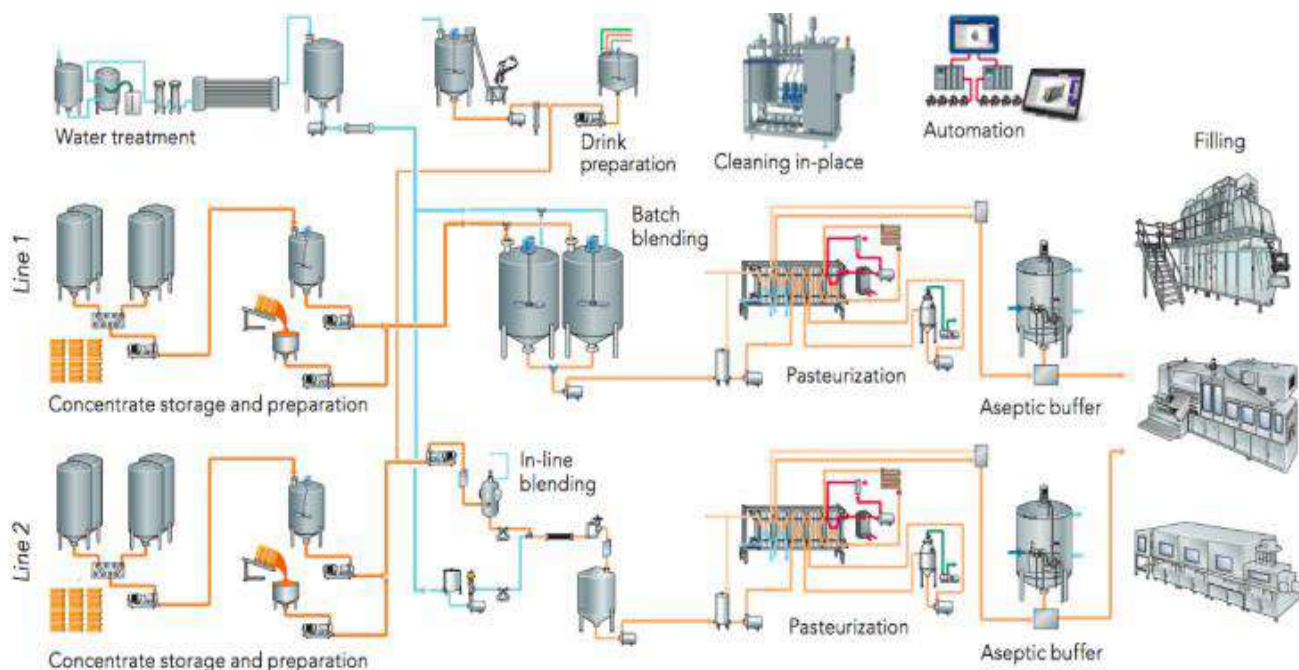


Рисунок 1.1 - Технологічні лінії з використанням концентрату в якості сировини

Етап:Зберігання та підготовка концентрату

Концентрат, отриманий в автоцистернах, перекачується у великі резервуари для зберігання. Зона зберігання охолоджується або резервуари оснащуються охолоджувальними сорочками. Концентрат повинен зберігатися при температурі нижче 0 °С. Концентрат, отриманий в бочках, поміщається на зберігання в замороженому вигляді.

З резервуарів для зберігання концентрат перекачується безпосередньо на ділянку змішування для відновлення водою. Альтернативно, змішування концентратів різного походження або видів фруктів відбувається в окремому резервуарі перед розведенням водою. Концентрат у бочках підігрівається до - 5 °С або вище перед розливанням або перекачуванням.

Етап:Очищення води

Обробка, необхідна для технічної води, яка використовується для розведення концентрату до кінцевого продукту, залежить від якості води, що подається на завод. Поширені методи очищення включають піщану фільтрацію для видалення нерозчинних твердих речовин, фільтрацію активним вугіллям для видалення кольору та мембранну фільтрацію для зменшення вмісту розчинених солей (та органічних речовин). Для пом'якшення води або зменшення її лужності можуть використовуватися методи іонного обміну. Установки з високим споживанням води, наприклад, під час циклів запуску та очищення, направляють очищену воду до буферного резервуару для забезпечення достатньої кількості води.

Етап:Потокове змішування

На 2 лінії очищена вода і концентрат (та інші інгредієнти) безперервно подаються в потокову систему змішування і змішуються на шляху до пастеризатора. Критичний параметр, як правило, V_{rix} кінцевого продукту, постійно контролюється. Система управління регулює швидкість потоку відповідних компонентів для підтримання цільового значення V_{rix} . Загальний потік змішаного продукту, що проходить через буферний резервуар, регулюється відповідно до потужності пастеризації.

Етап: Пастеризація та деаерація

У пастеризаторі сік нагрівається в трубчастих або пластинчастих теплообмінниках до температури пастеризації (80-95°C), яка підтримується при проходженні продукту через камеру витримки. Потім сік охолоджується до температури розливу і направляється на розлив. Деаератор видаляє з соку вільне повітря та розчинений кисень. Більша частина тепла, що використовується, утилізується при охолодженні пастеризованого соку. Додаткова енергія постачається за рахунок циркуляції гарячої води, нагрітої парою. Під час очищення, запуску та будь-яких збоїв в роботі потік рециркулює над пастеризатором.

Етап: Асептичний буфер

У більшості випадків пастеризований продукт надходить безпосередньо до наповнювача, звідки будь-який перелив повертається до пастеризатора. Буферна ємність між пастеризатором і наповнювачем гарантує, що коливання в роботі наповнювача не впливають на попередню обробку і що можна здійснювати безперервне регулювання тиску і потоку відповідно до продуктивності наповнювача. Буферна ємність необхідна для певних типів наповнювачів. Буферні ємності повинні мати асептичну конструкцію, щоб уникнути повторного мікробного забруднення продукту.

Етап: Наповнення

Одна пастеризаційна система може подавати продукт на одну або декілька розливних машин. Один і той же тип пастеризатора, що забезпечує отримання комерційно стерильного продукту, використовується як для асептично розлитих соків, так і для неасептичних соків, призначених для тривалого зберігання в охолоджених умовах. Для гарячого розливу використовується інша конструкція пастеризатора.

Етап: Приготування напоїв та нектарів

Цукор, що поставляється на завод у рідкому вигляді, може надходити безпосередньо в буферне сховище на місці, тоді як цукор-пісок повинен бути розчинений у воді для отримання розчину із заданим вмістом Brix. Невеликі

кількості інгредієнтів для виробництва нектарів та фруктових напоїв можуть бути попередньо змішані перед подачею на ділянку змішування. Розчинення цукру і змішування інгредієнтів, як правило, здійснюється періодично.

Етап: Зберігання неконцентрованої сировини

Заморожена неконцентрована сировина, як правило, в 200-літрових бочках, зберігається при температурі -18°C . Асептична сипуча неконцентрована сировина, як правило, в асептичних резервуарах для зберігання або асептичних контейнерах "bag-in-box", зберігаються при температурі 0°C або вище.

Етап: Підготовка неконцентрованої сировини

Твердозаморожена неконцентрована сировина перед переробкою зріджується. Швидке розморожування досягається шляхом початкового нагрівання в тунелі з подальшим перекиданням вмісту бочки в льододробарку. Потім крижана суспензія розтоплюється в трубчастому нагрівачі.

Сік у резервуарах та асептичних мішках є рідким і може перекачуватися безпосередньо до буферних ємностей. Асептичні мішки спорожняються за допомогою шлангового насоса, вставленого у верхню частину мішка, або за допомогою насоса, підключеного до зливного патрубку в нижній частині мішка.

1.4 Аналіз системи змішування

Розглянемо 2 типи систем змішування.

Періодичне змішування найкраще підходить для невеликих виробничих циклів та/або великої кількості інгредієнтів, як, наприклад, у випадку зі спеціалізованими напоями.

Потокове змішування найкраще підходить для великих обсягів продукції, що вимагає невеликої кількості інгредієнтів, наприклад, споживчих продуктів з високим оборотом, таких як чисті соки.

Періодична система змішування

Кожна лінія системи періодичного змішування включає два резервуари для змішування. У той час як один резервуар використовується для приготування нової партії, сік перекачується з іншого резервуару до пастеризатора. Обидва резервуари оснащені мішалками для ефективного змішування інгредієнтів. Однак перемішування повинно здійснюватися таким чином, щоб уникнути потрапляння повітря в сік, оскільки це може викликати операційні проблеми при подальшій переробці. Ефективне очищення резервуарів на місці також важливе для запобігання мікробному забрудненню соку для наступного виробничого циклу.

У ручній системі розраховується кількість концентрату і води (плюс будь-які інші інгредієнти), необхідні для партії. Спочатку в змішувальний бак подається заздалегідь визначена кількість води (більша частина розрахованого об'єму), а потім концентрат. Об'єм концентрату часто вимірюється як кількість барабанів. Потім в бак додаються інші інгредієнти, включаючи воду з промивних барабанів.

Концентрація відновленого соку за шкалою Брікса перевіряється після ретельного перемішування в резервуарі. Потім додається більше води, щоб наблизитися до цільового рівня Brix. Коли бажане значення Brix досягнуто, продукт готовий до пастеризації. Перехід до повного резервуару відбувається,

коли інший резервуар стає порожнім. Продукт перекачується з повного резервуара в секцію пастеризації.

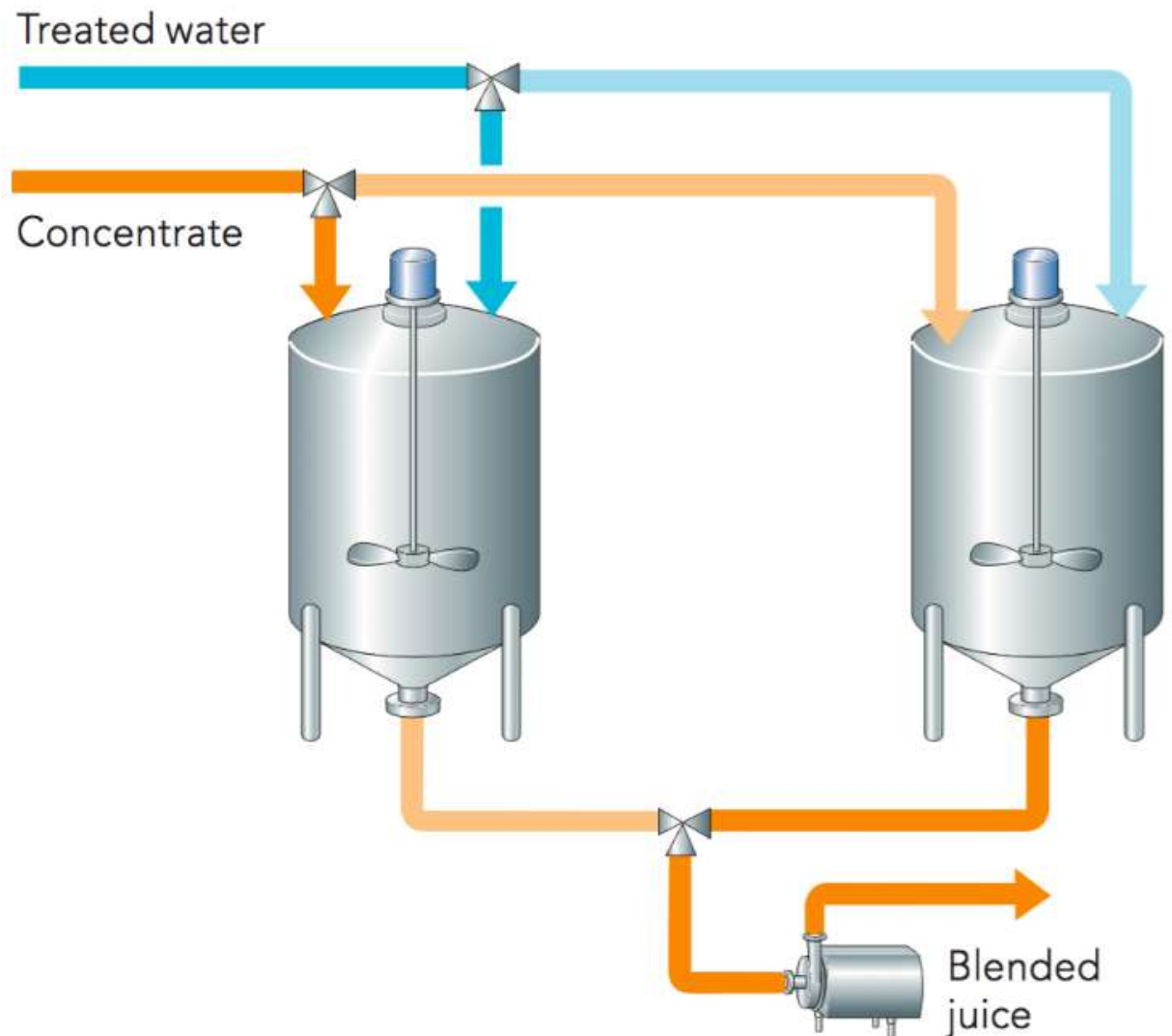


Рисунок 1.2 – Принцип роботи типової системи періодичного змішування

У напівавтоматичних системах періодичного змішування рецепти заздалегідь запрограмовані в блоці управління процесом. Після вибору рецептури, разом з відповідними даними для даного виробничого циклу, блок управління розраховує кількість інгредієнтів, що підлягають змішуванню.

Додавання води і концентрату (і, можливо, сиропу) відбувається автоматично і контролюється шляхом зважування вмісту резервуара (за допомогою тензодатчиків на ніжках резервуара) або за допомогою масових витратомірів. Відбір проб для перевірки рівня Брікса здійснюється вручну.

Вимірний рівень Brix вводиться в контролер і розраховується об'єм води, необхідний для правильної корекції вмісту резервуара, після чого додається вода. Після ретельного перемішування рівень Brix знову перевіряється вручну і при необхідності вносяться подальші корективи у вміст бака.

Потокова система змішування

Вирішальними факторами високої продуктивності поточкових систем змішування є:

1. Висока точність змішування;
2. Ефективне змішування концентрату і води;
3. Можливість регулювання швидкості потоку через змішувальний вузол відповідно до вимог подальшого обладнання (пастеризаторів і наповнювачів);

Потокове змішування, засноване виключно на об'ємних вимірах, забезпечує обмежену точність змішування. Це пов'язано з варіаціями щільності концентрату і числа Брікса, викликаними, наприклад, бульбашками повітря, що потрапили у в'язкий концентрат, і варіаціями числа Брікса концентрату в резервуарі.

Тому об'ємне змішування, наприклад, за допомогою поршневих насосів, повинно поєднуватися з точною системою вимірювання Brix для змішаного соку, щоб забезпечити високу точність змішування.

Масові витратоміри, які мають високу точність, вимірюють як масову витрату, так і фактичну щільність потоків інгредієнтів. Значення Брікса кінцевого соку розраховується на основі співвідношення двох потоків.

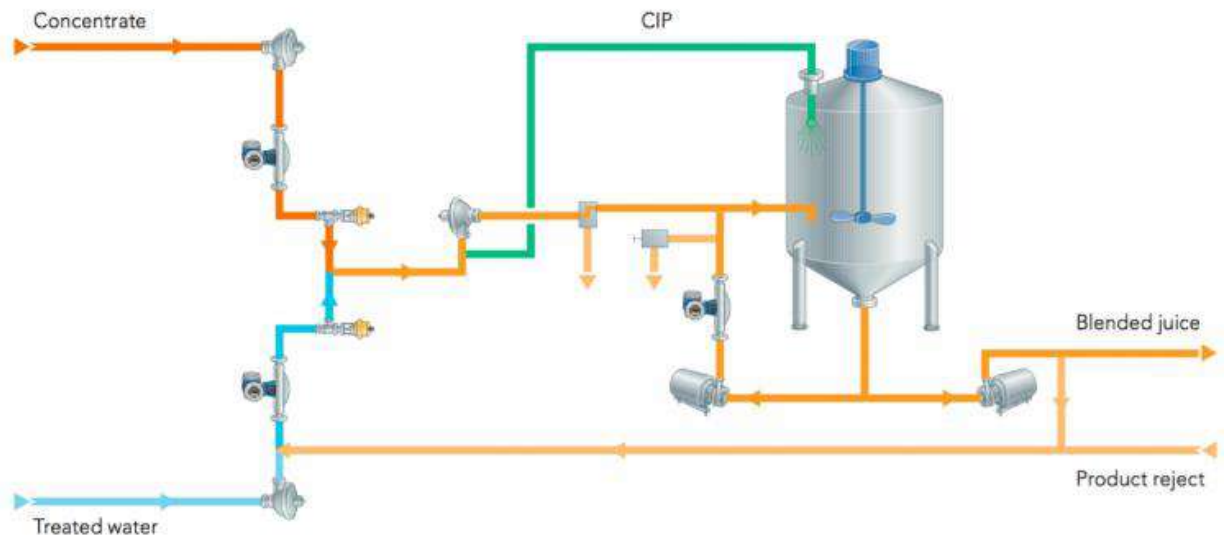


Рисунок 1.3 - Технологічна схема двопотокової системи змішування

На рисунку 1.3 зображена двопотокова система змішування двох потоків.

Потік води і попередньо змішаний потік концентрату змішуються і подаються в буферний резервуар. Загальна швидкість потоку через змішувач змінюється відповідно до продуктивності наступної розливної машини, але співвідношення між водою і концентратом підтримується постійним. Буферний резервуар оснащений мішалкою для забезпечення однорідності суміші, а масовий витратомір розміщений в циркуляційному контурі над резервуаром для перевірки відповідності $Brix$ змішаного соку заданому значенню.

Масові витратоміри вимірюють витрату і щільність в кожному потоці. Зміна щільності концентрату (тобто $Brix$) миттєво призводить до коригування співвідношення змішування, гарантуючи, що $Brix$ змішаного соку завжди відповідає специфікації. Відпрацьований продукт і фази суміші (продукту і води), що утворюються на початку і в кінці виробництва, можуть бути повторно введені в блок змішування, щоб уникнути втрати цінного продукту.

Проаналізувавши данні системи змішування, можемо зробити висновок, що для нашого процесу більше підходить потокова система змішування, оскільки вона повністю задовольняє наші потреби, а саме бесперервність

виробництва за рахунок якої виростає продуктивність, ефективність змішування, можливість регулювання швидкості потоку.

1.5 Постановка задачі до магістерської дисертації

Метою магістерської дисертації є побудова інтелектуальної системи контролю та управління процесом виробництва соку, яка в свою чергу, повинна задовольняти наступним вимогам:

- Збільшення продуктивності виробництва
- Збільшення якості вихідного продукту
- Отримання якісного продукту що відповідає заданому регламенту відповідно до держстандартів та світових нормативів

2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОТОЧНОЇ ЄМНОСТІ ЯК ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

На багатьох виробництвах, змішування речовин, розчинів обширно використовується на виробничих стадіях, де для отримання кінцевого продукту необхідно отримувати розчин певної концентрації з декількох потоків, які мають різну концентрацію. Об'єктом керування було обрано проточну ємність яка зображена на рисунку(1.2). Параметри основного статичного режиму наведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – параметри основного статичного режиму

№ п/п	Назва параметру	Позначення (ідентифікатор)	Одиниця вимірювання	Значення
1	Об'єм розчину в змішувачі	V	м ³	6
2	Концентрація в потоці 1	C1	кг/м ³	0.3
3	Концентрація в потоці 2	C2	кг/м ³	9
4	Концентрація на виході зі змішувача	c	кг/м ³	4
5	Витрата потоку 1	Q1	м ³ /год	4.5
6	Витрата потоку 2	Q2	м ³ /год	4.5

Для нашого випадку потрібно два потоки розчину з витратами Q1 та Q2 і їхніми концентраціями c1 та c2. На виході рідинного змішувача потрібно підтримувати бажану концентрацію c.

Допущення:

1. Апаратом ідеального перемішування будемо вважати рідинний змішувач через наявність мішалки;
2. Об'єм рідинного змішувача постійний;
3. Один потік буде незалежним(для прикладу, процес рециркуляції чи використання потоку за вимогами), другий потік буде використовуватися для отримання бажаної концентрації на виході за рахунок постійної концентрації;
4. Показник середньої концентрації в рідинному змішувачі буде дорівнювати показнику заданої концентрації на виході.

Вихідною регульованою величиною рідинного змішувача являється показник середньої концентрації на виході.

Керуючою дією являється витрата другого потоку.

Показники витрати та концентрації першого потоку являються параметрами збурення при регулюванні вихідної концентрації за допомогою витрати другого потоку.

Математичний опис аналітичної моделі проточної ємності зазвичай зводиться до складання рівняння матеріального балансу.

Рівняння матеріального балансу змішувача:

$$V \frac{dc}{dt} = Q1 * c1 + Q2 * c2 - (Q1 + Q2) * c \quad (2.1)$$

Проведемо лінеаризацію рівняння матеріального балансу

Показники змінних у їх відхиленнях від статичного режиму:

$$\begin{aligned} Q1 &= Q10 + \Delta Q1, \\ Q2 &= Q20 + \Delta Q1, \\ c &= c10 + \Delta c1. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Для лінеаризації (2.1) скористуємося формулою приросту функцій багатьох зінних $f(x1, x2, \dots, xn)$ в точці $x10, x20, \dots, xn0$:

$$\Delta f(x1, x2, \dots, xn) = \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{\delta f}{\delta xi} \right)_{xi0} \Delta xi \quad (2.3)$$

Далі використаємо формулу(2.3) до рівняння балансу(2.1):

$$V \frac{d\Delta c}{dt} + (Q10 + Q20)\Delta c = Q10\Delta c1 + c10\Delta Q1 + c20\Delta Q2 - (Q10 + Q20)\Delta c - c0\Delta Q1 - c0\Delta Q2 \quad (2.4)$$

Після проведення операції зведення подібних членів, отримуємо лінеаризоване рівняння

$$V \frac{d\Delta c}{dt} + Q10 + Q20 \Delta c = Q10\Delta c1 + c10 - c0 \Delta Q1 + c20 - c0 \Delta Q2 \quad (2.5)$$

Статична характеристика за каналом керування « $Q2 \rightarrow c$ » на рис. 2.1

$$c(Q2) = \frac{Q1 * c1 + Q2 * c2}{Q1 + Q2}$$

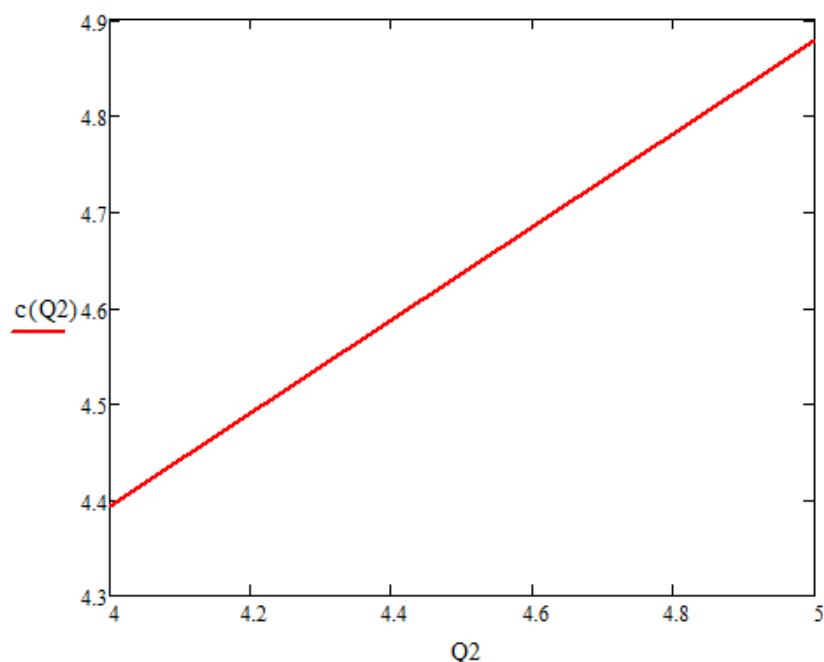


Рисунок 2.1 - Статична характеристика за каналом керування « $Q2 \rightarrow c$ »

Побудуємо статистичну характеристику за каналом збурення « $Q1 \rightarrow c$ » (рис.2.2)

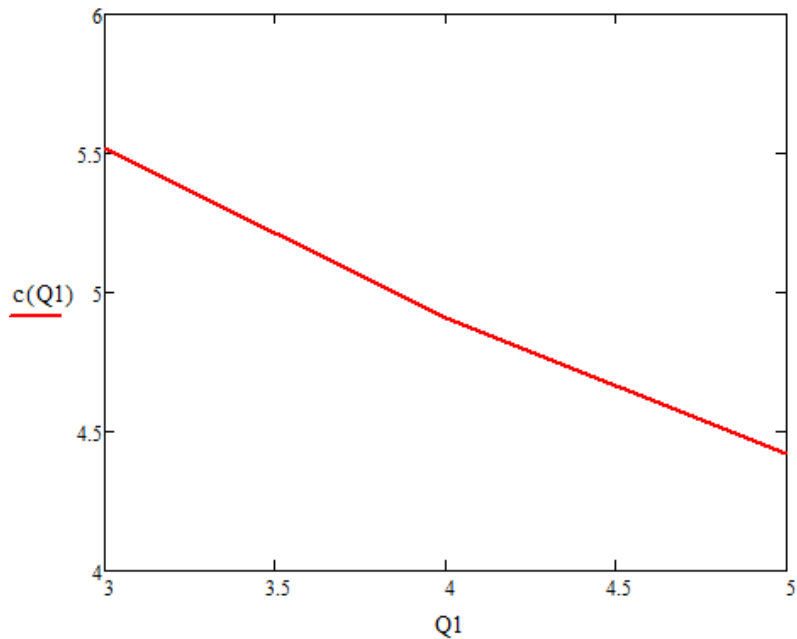


Рисунок 2.2 - Статистична характеристика за каналом збурення «Q1 → c»

Статистичні характеристики каналу керування та каналу збурення, лінійні та відповідно мають такі коефіцієнти передачі 0.625 канал керування та 0.038 канал збурення

Для того щоб привести змінні до безрозмірного виду необхідно ввести наступні позначення:

Позначення приведено для регульованої величини:

$$\varphi = \Delta c / c_0, \text{ тобто } \Delta c = c_0 * \varphi; \quad (2.6)$$

Позначення для керуючої дії:

$$\mu = \Delta Q_2 / Q_{20}, \text{ тобто } \Delta Q_2 = Q_{20} * \mu; \quad (2.7)$$

Позначення приведено для збурення:

$$\lambda_1 = \Delta Q_1 / Q_{10}, \text{ тобто } \Delta Q_1 = Q_{10} * \lambda_1; \quad (2.8)$$

$$\lambda_2 = \Delta c_1 / c_{10}, \text{ тобто } \Delta c_1 = c_{10} * \lambda_2. \quad (2.9)$$

Далі підставивши (2.6) – (2.9) в (2.5) результатом буде отримане рівняння змінних в безрозмірному виді:

$$V c_0 \frac{d\varphi}{dt} + (Q_{10} + Q_{20}) c_0 \varphi = Q_{10} c_{10} \lambda_2 + (c_{10} - c_0) Q_{10} \lambda_1 + (c_{20} - c_0) Q_{20} \mu \quad (2.10)$$

Через що перетворення за Лапласом змінної часу $t \rightarrow p$ при нульових початкових умовах зміняться аргументи в змінних:

$$\begin{aligned}\varphi(t) &\rightarrow \varphi(p), \\ \mu(t) &\rightarrow \mu(p), \\ \lambda_1(t) &\rightarrow \lambda_1(p), \\ \lambda_2(t) &\rightarrow \lambda_2(p).\end{aligned}\tag{2.11}$$

Рівняння 2.12 змінить свій вигляд після врахування рівняння 2.11

$$[Vc_0p + (Q_{10} + Q_{20})c_0] * \varphi(p) = Q_{10}c_{10}\lambda_2(p) + (c_{10} - c_0)Q_{10}\lambda_1(p) + (c_{20} - c_0)Q_{20}\mu(p)\tag{2.12}$$

Рівняння в канонічній формі і в формі Коці

Для того щоб привести рівняння (2.12) до канонічної форми треба мати коефіцієнт 1 при доданку з φ , тобто розділити обидві частини рівняння на $(Q_{10} + Q_{20})c_0$.

Тобто:

$$T = \frac{V}{Q_{10} + Q_{20}}\tag{2.13}$$

$$K_1 = \frac{(c_{10} - c_0)Q_{10}}{(Q_{10} + Q_{20})c_0}\tag{2.14}$$

$$K_2 = \frac{Q_{10}c_{10}}{(Q_{10} + Q_{20})c_0}\tag{2.15}$$

$$K_\mu = \frac{(c_{20} - c_0)Q_{20}}{(Q_{10} + Q_{20})c_0}\tag{2.16}$$

Отже отримуємо наступні значення коефіцієнтів:

$$T=40;$$

$$K_1=-0.463;$$

$$K_2=0.038;$$

$$K_\mu=0.625.$$

Враховавши рівняння (2.13)-(2.16), отримаємо рівняння математичної моделі проточної ємності(2.12) в канонічній формі:

$$(Tp + 1)\varphi = K_1\lambda_1 + K_2\lambda_2 + K_\mu * \mu\tag{2.17}$$

Залишивши в формулі (2.17) зліва тільки зображення першої похідної і виконавши зворотнє перетворення за Лапласом, результатом буде отримана математична модель в формі Коші:

$$T \frac{d\varphi}{dt} = -\varphi + K_{\mu} * \mu + K1\lambda1 + K2\lambda2 \quad (2.18)$$

Передавальні функції для каналу керування та каналу збурення:

За каналом збурення:

$$Wzb(p) = \frac{\varphi(p)}{\lambda2(p)} = \frac{0.038}{40p+1} \quad (2.19)$$

За каналом керування:

$$Wz(p) = \frac{\varphi(p)}{\mu(p)} = \frac{0.625}{40p+1} \quad (2.20)$$

Після отримання наших перехідних функцій будемо перехідні характеристики каналу керування та каналу збурення.

Перехідна характеристика каналу керування зображена на рисунку 2.4.

$$h1(t) := \frac{1}{p} \cdot Wk(p) \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, p} \\ \text{float, 3} \end{array} \right. \rightarrow -0.625 \cdot e^{-0.025 \cdot t} + 0.625$$

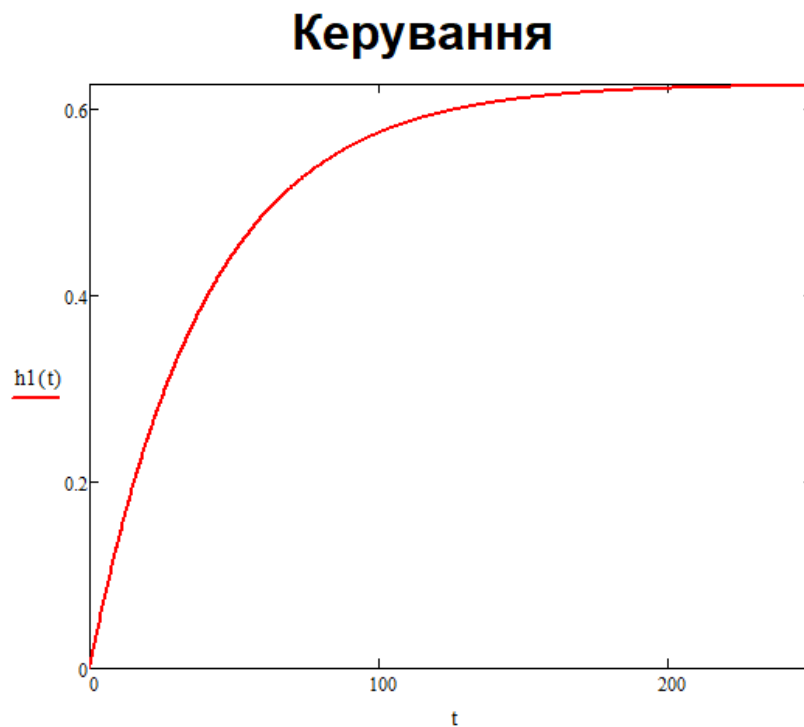


Рисунок 2.4—перехідна характеристика ТОК за каналом керування«Q2 → c»

Перехідна характеристика каналу збурення зображена на рисунку 2.5.

$$h_2(t) := \frac{1}{p} \cdot W_z(p) \quad \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, p} \\ \text{float, 3} \end{array} \right. \rightarrow -0.038 \cdot e^{-0.025 \cdot t} + 0.038$$

Збурення

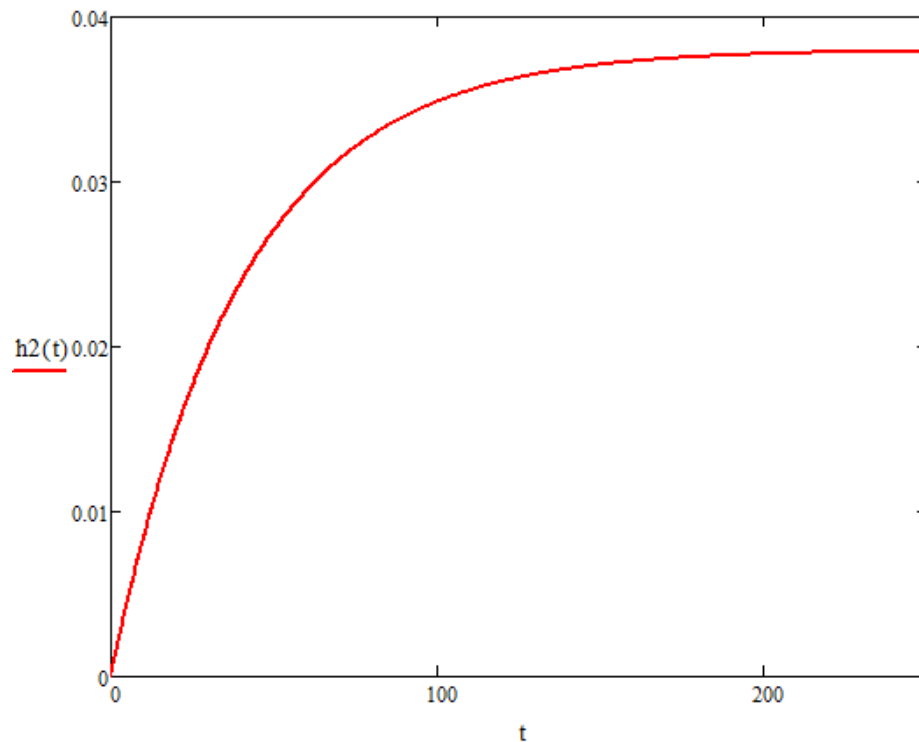


Рисунок 2.5-перехідна характеристика ТОК за каналом збурення «Q1 → c»

Як видно з графіків коефіцієнти передачі відповідають коефіцієнтам в статичній моделі.

Відповідно побудуємо частотні характеристики.

$$Wk1(\omega) := Wk(p) \left| \begin{array}{l} \text{substitute, } p = i \cdot \omega \\ \text{float, 3} \end{array} \right. \rightarrow \frac{0.625}{(40.0i) \cdot \omega + 1.0}$$

$$Ak(\omega) := |Wk1(\omega)| \text{ simplify } \rightarrow \frac{0.625}{|1.0 + 40.0i \cdot \omega|}$$

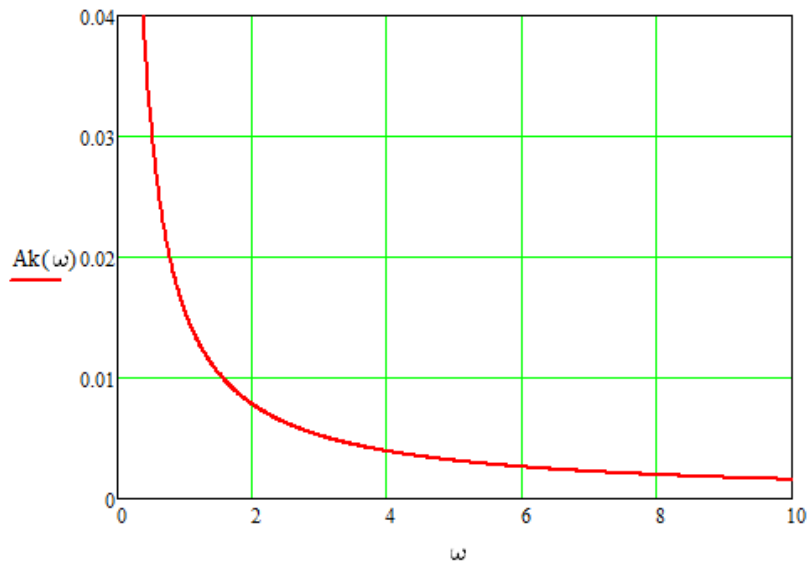


Рисунок 2.6 - побудова АЧХ

$$FAk(\omega) := \arg(Wk1(\omega))$$

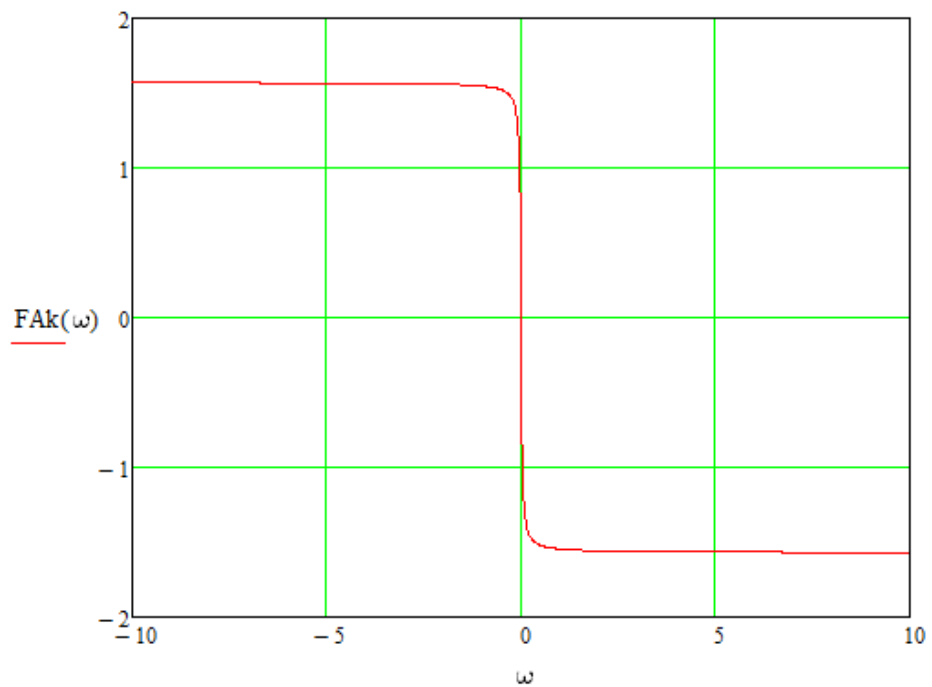


Рисунок 2.7 –побудова ФЧХ

$$\text{RE}(\omega) := \text{Re}(Wk1(\omega))$$

$$\text{IM}(\omega) := \text{Im}(Wk1(\omega))$$

$$\omega := 0, 0.0001 \dots 2 \cdot \pi$$

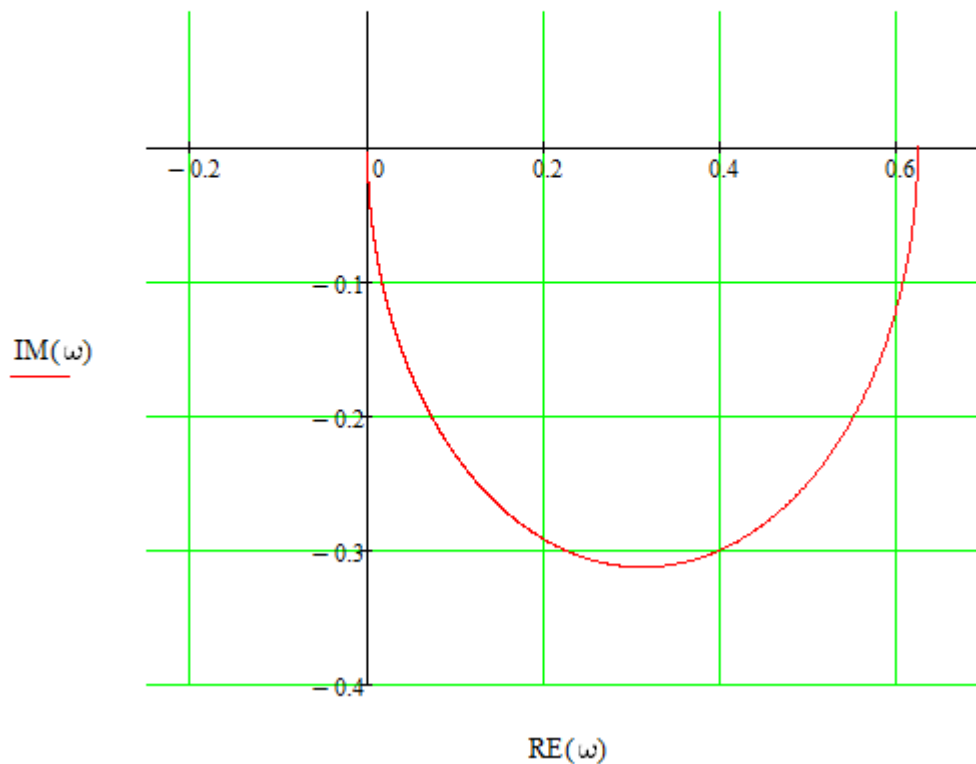


Рисунок 2.8 – побудова АФХ

Як видно з графіку що Амлітудно-фазова характеристика для об'єкту, що описується аперіодичною ланкою першого порядку має вигляд півкола, з діаметром що розташований на реальній осі координат і в свою чергу, виходячи з міркувань про отриманий результат, відповідає коефіцієнту передачі за каналом керування. З характеристики, очевидно, що збільшення частоти модуль вектору нашої частотної функції ланки прямо впливає на зменшення як наслідок поворота вектора передавальної функції проти часової стрілки.

Висновки до розділу 2

В даному розділі було виконано математичне моделювання об'єкта керування, отримані передавальні функції. Побудовані динамічні та статичні характеристики за каналами – керування та збурення. Розраховані відповідні АЧХ, ФЧХ, АФХ.

3. СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОТОЧНОЇ ЄМНОСТІ

3.1 Пояснення для створення нечіткої системи керування

При створенні системи керування вихідною концентрацією з проточної ємності для змішування рідин було обрано алгоритм керування на основі нечіткої логіки. Керування відбувається за допомогою витрати на вході до об'єкту. Керована змінна-концентрація вихідного продукту.

3.2 Формування лінгвістичних змінних

Запишемо наступні лінгвістичні змінні нашої системи: Q_2 -витрата потоку №2, c -концентрація вихідного продукту, c_2 -концентрація потоку №2 на вході до проточної ємності(далі ПЄ).

Витрата потоку №2: $1.1 \text{ л/с} < Q_2 < 1.4 \text{ л/с}$;

Низька

Нижче середньої

Середня

Вище середньої

Висока

Вихідна концентрація: $4.1\% < c < 4.9\%$

Низька

Середня

Висока

Концентрація 2-го потоку: $5\% < c_2 < 10\%$

Низька

Середня

Висока

Після формування лінгвістичних змінних нашої системи опишемо функції належності для лінгвістичної змінної «Витрата 2-го потоку». Результати наведені на рисунках 3.1 - 3.3.

$$Q_n(x) := \begin{cases} 1 & \text{if } x < 4.1 \\ \frac{(4.2 - x)}{4.2 - 4.1} & \text{if } 4.1 \leq x \leq 4.2 \\ 0 & \text{if } x > 4.2 \end{cases}$$

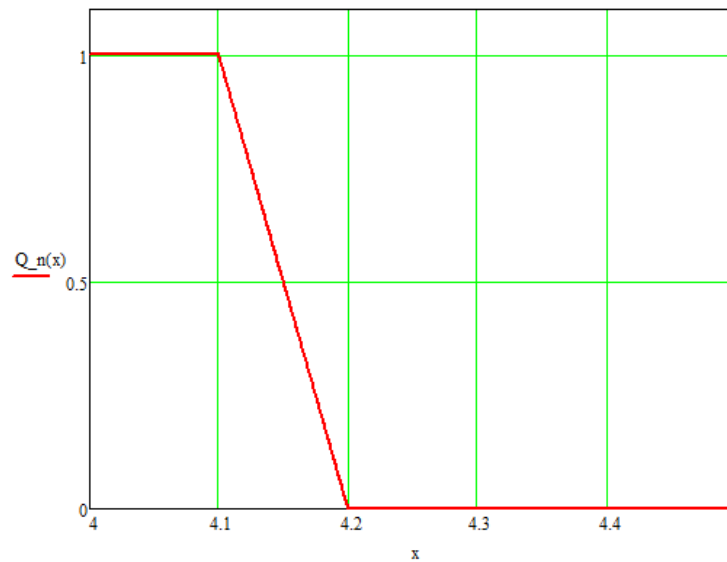


Рисунок 3.1 – Функція належності «Витрата 2-го потоку» «Низька»

$$Q_s(x) := \begin{cases} 0 & \text{if } x < 4.1 \\ \frac{(x - 4.1)}{4.2 - 4.1} & \text{if } 4.1 \leq x \leq 4.2 \\ \frac{(4.8 - x)}{4.8 - 4.2} & \text{if } 4.2 \leq x \leq 4.8 \\ 0 & \text{if } x > 4.8 \end{cases}$$

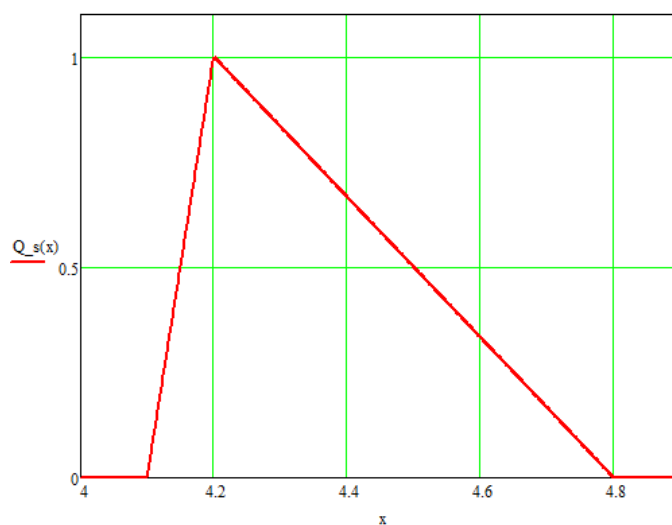


Рисунок 3.2 – Функція належності «Витрата 2-го потоку» «Середня»

$$Q_v(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x < 4.7 \\ \frac{(x - 4.7)}{4.9 - 4.7} & \text{if } 4.7 \leq x \leq 4.9 \\ 1 & \text{if } x > 4.9 \end{cases}$$

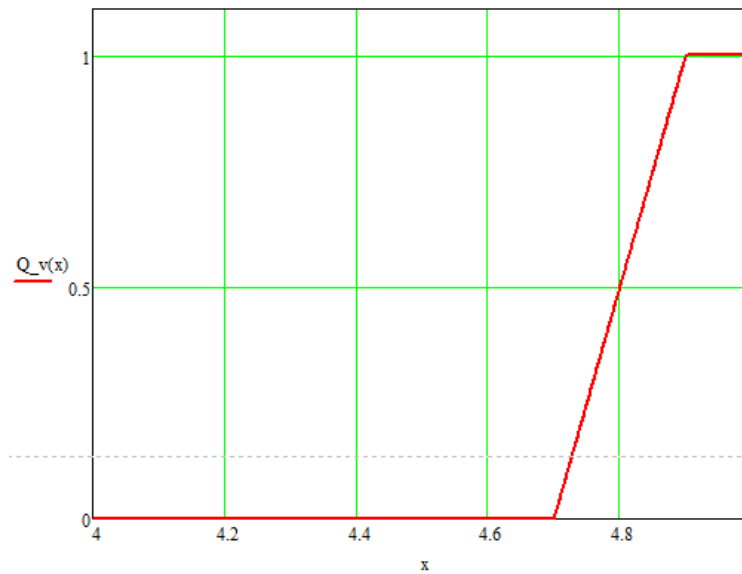


Рисунок 3.3 – Функція належності «Витрата 2-го потоку» «Висока»

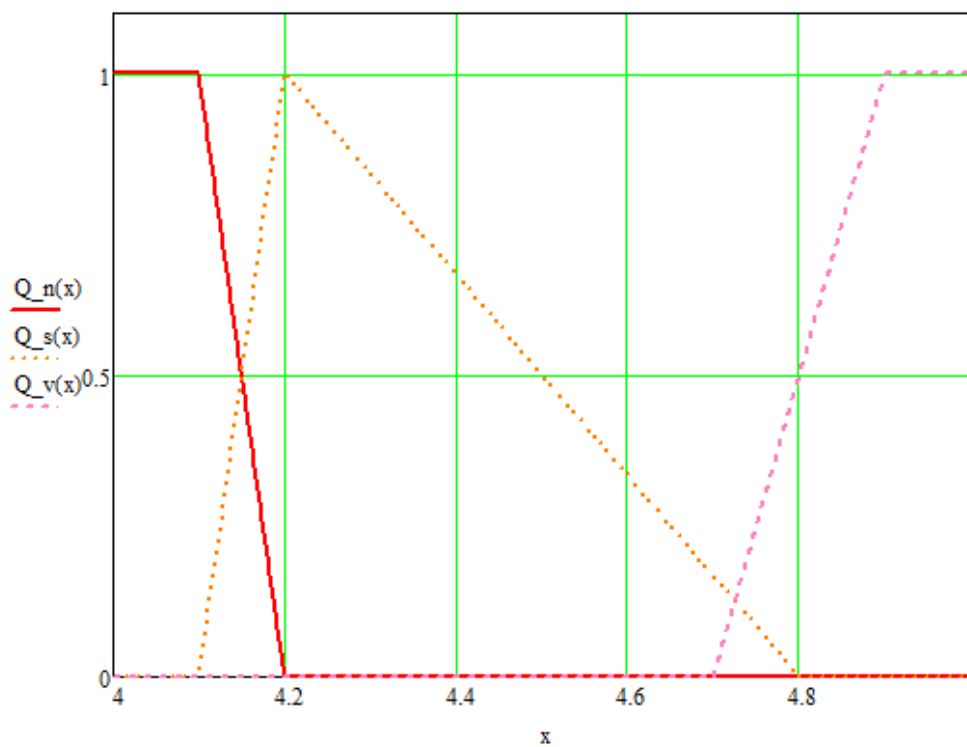


Рисунок 3.4 – Загальна функція належності «Витрата 2-го потоку»

Після формування лінгвістичних змінних нашої системи опишемо функції належності для лінгвістичної змінної «Вихідної концентрації». Результати наведені на рисунках 3.5 - 3.8.

$$C_n(x_1) := \begin{cases} 1 & \text{if } x_1 < 4.4 \\ \frac{(4.5 - x_1)}{4.5 - 4.4} & \text{if } 4.4 \leq x_1 \leq 4.5 \\ 0 & \text{if } x_1 > 4.5 \end{cases}$$

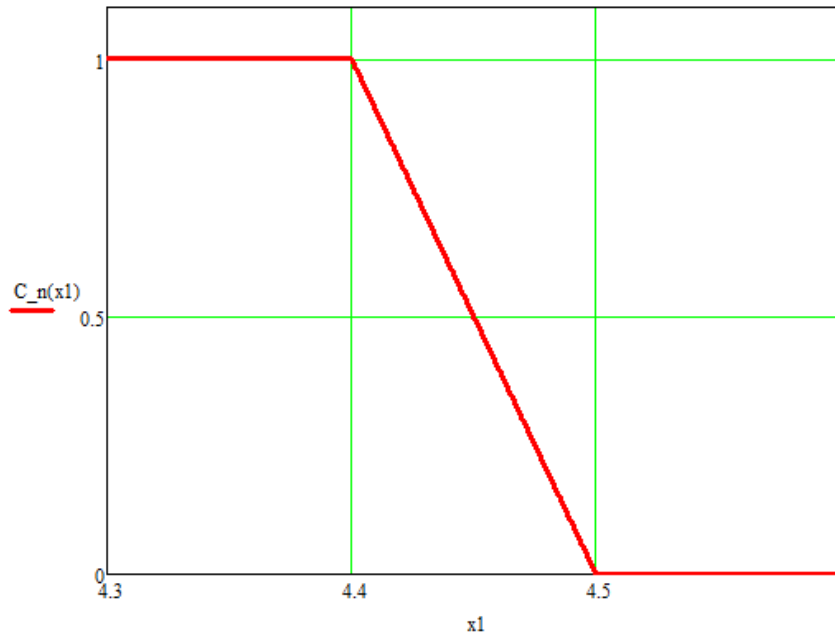


Рисунок 3.5 – Функція належності «Вихідна концентрація» «низька»

$$C_s(x_1) := \begin{cases} 0 & \text{if } x_1 < 4.45 \\ \frac{(x_1 - 4.45)}{4.7 - 4.45} & \text{if } 4.45 \leq x_1 \leq 4.7 \\ \frac{(4.75 - x_1)}{4.75 - 4.7} & \text{if } 4.7 \leq x_1 \leq 4.75 \\ 0 & \text{if } x_1 > 4.75 \end{cases}$$

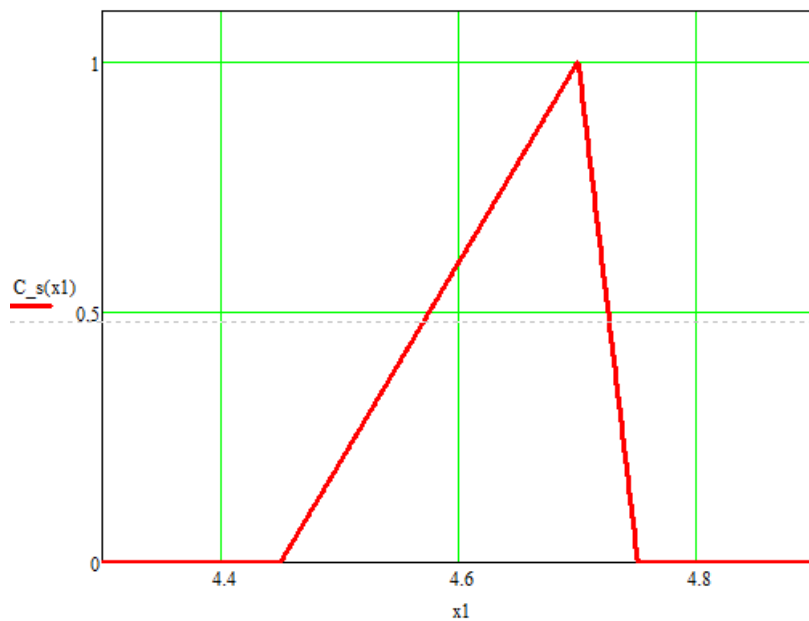


Рисунок 3.6 – Функція належності «Вихідна концентрація» «середня»

$$C_v(x_1) = \begin{cases} 0 & \text{if } x_1 < 4.7 \\ \frac{(x_1 - 4.7)}{4.9 - 4.7} & \text{if } 4.7 \leq x_1 \leq 4.9 \\ 1 & \text{if } x_1 > 4.9 \end{cases}$$

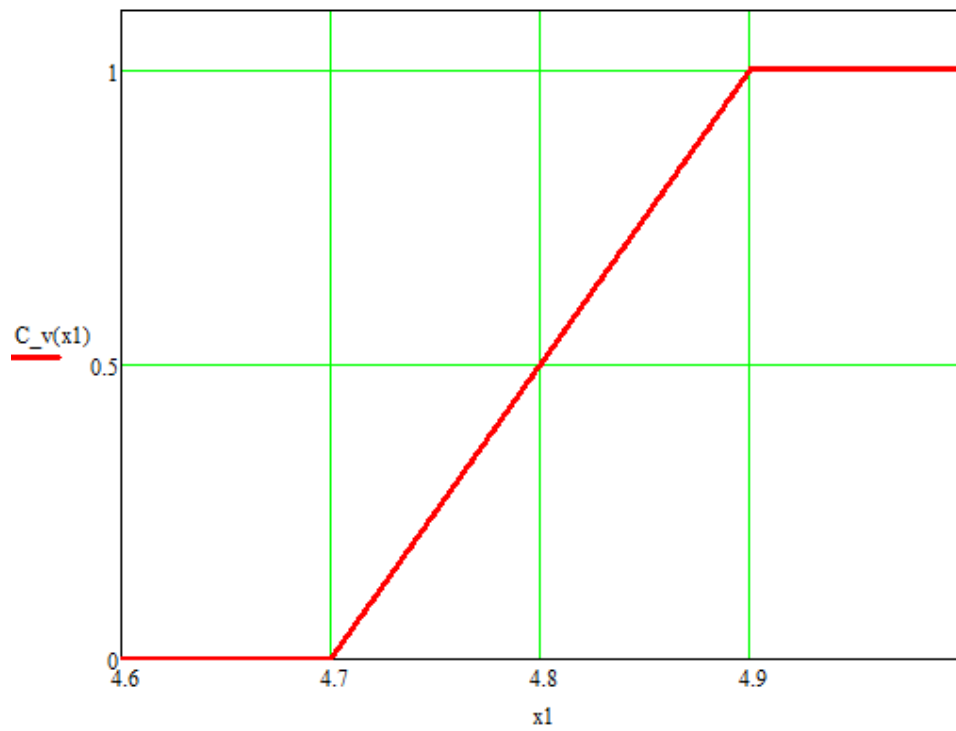


Рисунок 3.7 – Функція належності «Вихідна концентрація» «висока»

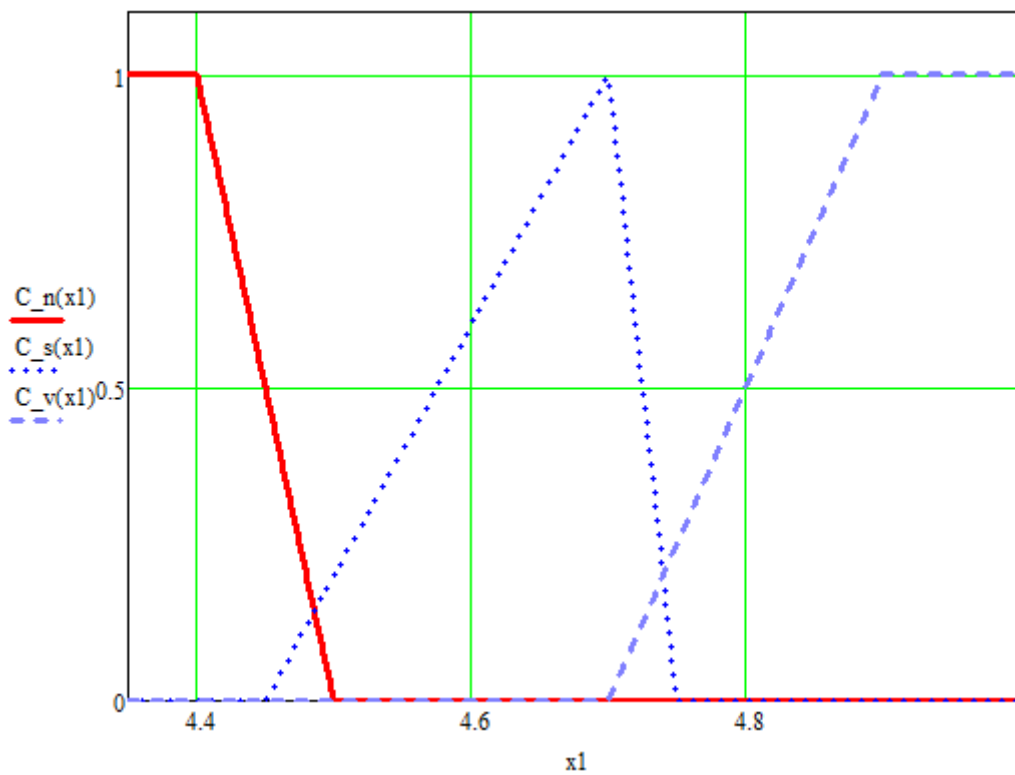


Рисунок 3.8 – Загально функція належності «Вихідна концентрація»

3.3 Продукційні правила нечіткої системи керування

Запишемо нечіткі правила керування:

1. if (Концентрація=Низька) {Витрата=Висока}
2. if (Концентрація=Середня) {Витрата=Середня}
3. if (Концентрація=Висока) {Витрата=Низька}

Для розрахунку степенів входження «Витрати» для кожного терму для прикладу задамо рівень Брікса «Концентрацію»=4.73.

$$C_{vh} := 4.73$$

$$n_m := Q_n(C_{vh}) = 0$$

$$s_m := Q_s(C_{vh}) = 0.117$$

$$v_m := Q_v(C_{vh}) = 0.15$$

Рисунок 3.9 – Розрахунок степеня входження допущеної концентрації

Для модифікації правої частини правил врахуємо ступені входження в ліві частини відповідно. Використаємо 2 методи: метод добутку та метод мінімуму. Після цього виконаємо суперпозицію. Скористаємося двома методами виконання даної операції – максимуму та підсумовування.

Метод добутку. Розрахунок наведено на рисунку 4.10

$$Q_{nm}(fx) := Q_n(fx) \cdot n_m$$

$$Q_{sm}(fx) := Q_s(fx) \cdot s_m$$

$$Q_{vm}(fx) := Q_v(fx) \cdot v_m$$

$$Q_{m1}(fx) := \max(Q_{nm}(fx), Q_{sm}(fx), Q_{vm}(fx))$$

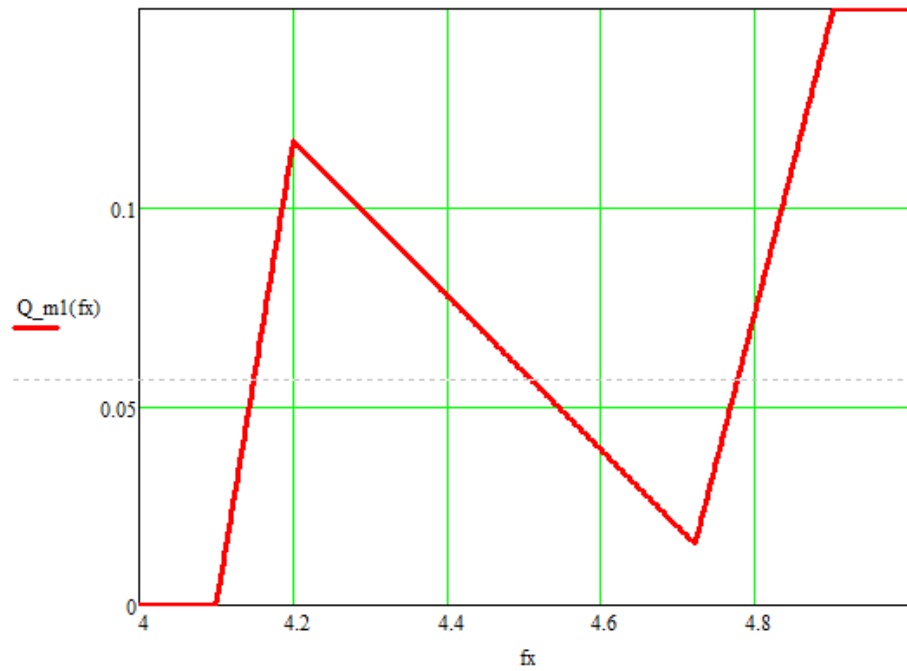


Рисунок 3.10 - модифіковані праві частини правил нечітких множин методом добутку за допомогою максимуму

Розраховане фактичне значення витрати 2-потокү показано на рисунку 3.11.

$$QQ_{m1} := \frac{\int_4^5 fx \cdot Q_{m1}(fx) dfx}{\int_4^5 Q_{m1}(fx) dfx}$$

$$QQ_{m1} = 4.587$$

Рисунок 3.11 – Розрахунок фактичного значення витрати 2-го потокү

$$Q_m2(fx) := Q_nm(fx) + Q_sm(fx) + Q_vm(fx)$$

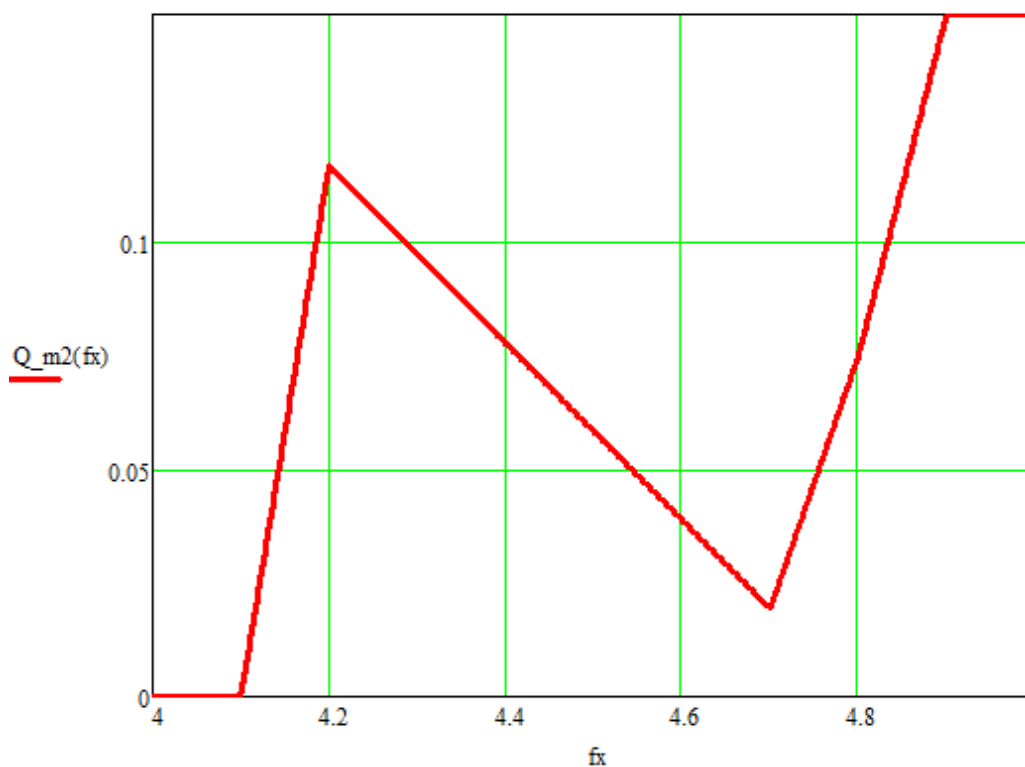


Рисунок 3.12- модифіковані праві частини правил нечітких множин методом добутку за допомогою підсумовування

$$QQ_m2 := \frac{\int_4^5 fx \cdot Q_m2(fx) dfx}{\int_4^5 Q_m2(fx) dfx}$$

$$QQ_m2 = 4.589$$

Рисунок 3.13 - Розрахунок фактичного значення витрати 2-го потоку

Метод мінімуму. Розрахунки наведені на рисунку 3.14

$$\begin{aligned}
Q_nmin(fx) &:= \begin{cases} Q_n(fx) & \text{if } Q_n(fx) \leq n_m \\ n_m & \text{otherwise} \end{cases} \\
Q_smin(fx) &:= \begin{cases} Q_s(fx) & \text{if } Q_s(fx) \leq s_m \\ s_m & \text{otherwise} \end{cases} \quad + \\
Q_vmin(fx) &:= \begin{cases} Q_v(fx) & \text{if } Q_v(fx) \leq v_m \\ v_m & \text{otherwise} \end{cases} \\
Q_m1min(fx) &:= \max(Q_nmin(fx), Q_smin(fx), Q_vmin(fx))
\end{aligned}$$

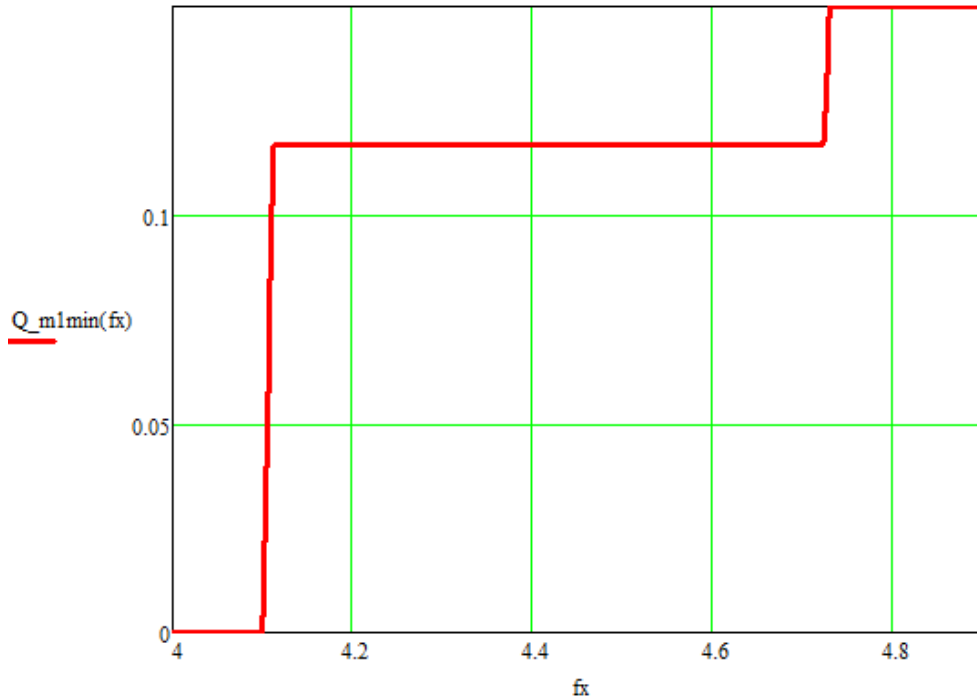


Рисунок 3.14- модифіковані праві частини правил нечітких множин методом мінімуму за допомогою максимуму

$$\begin{aligned}
QQ_m1min &:= \frac{\int_4^5 fx \cdot Q_m1min(fx) \, dfx}{\int_4^5 Q_m1min(fx) \, dfx} \\
QQ_m1min &= 4.58
\end{aligned}$$

Рисунок 3.15- Розрахунок фактичного значення витрати 2-го потоку

$$Q_m2min(fx) := Q_nmin(fx) + Q_smin(fx) + Q_vmin(fx)$$

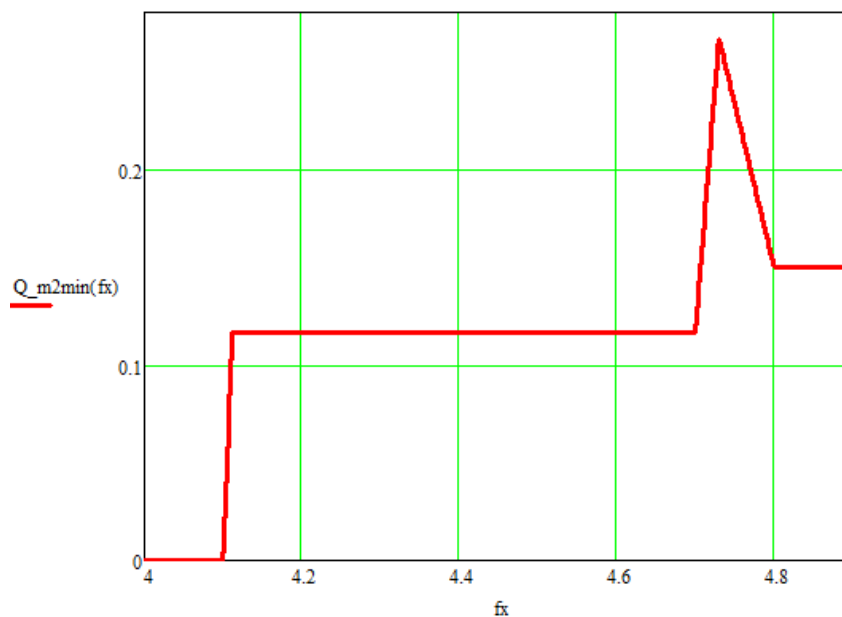


Рисунок 3.16- модифіковані праві частини правил нечітких множин методом мінімуму за допомогою підсумовування

$$QQ_m2min := \frac{\int_4^5 fx \cdot Q_m2min(fx) dfx}{\int_4^5 Q_m2min(fx) dfx}$$

$$QQ_m2min = 4.586$$

Рисунок 3.17- Розрахунок фактичного значення витрати 2-го потоку

Виконавши розрахунки обома методами можемо зробити висновок що результати майже співпадають.

Синтез нечіткої системи керування виконаємо в MatLab Fuzzy Logic Toolbox.

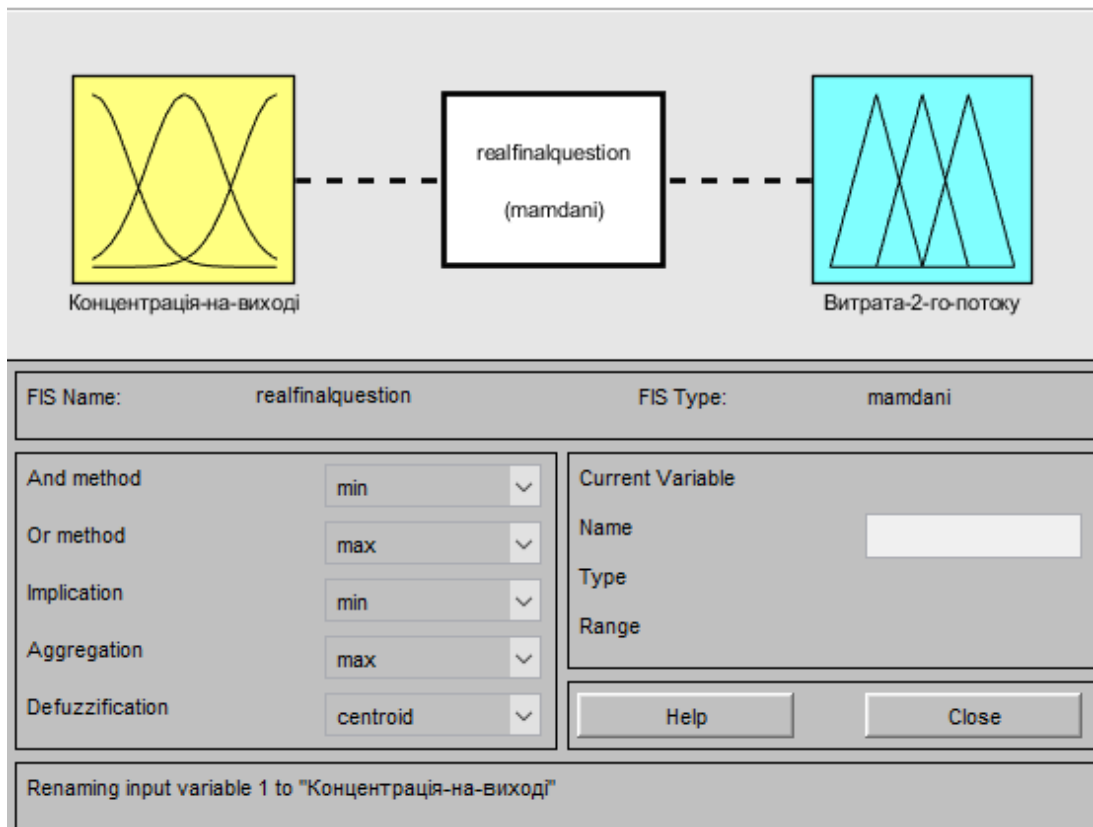


Рисунок 3.18 – Схема нечіткої системи керування

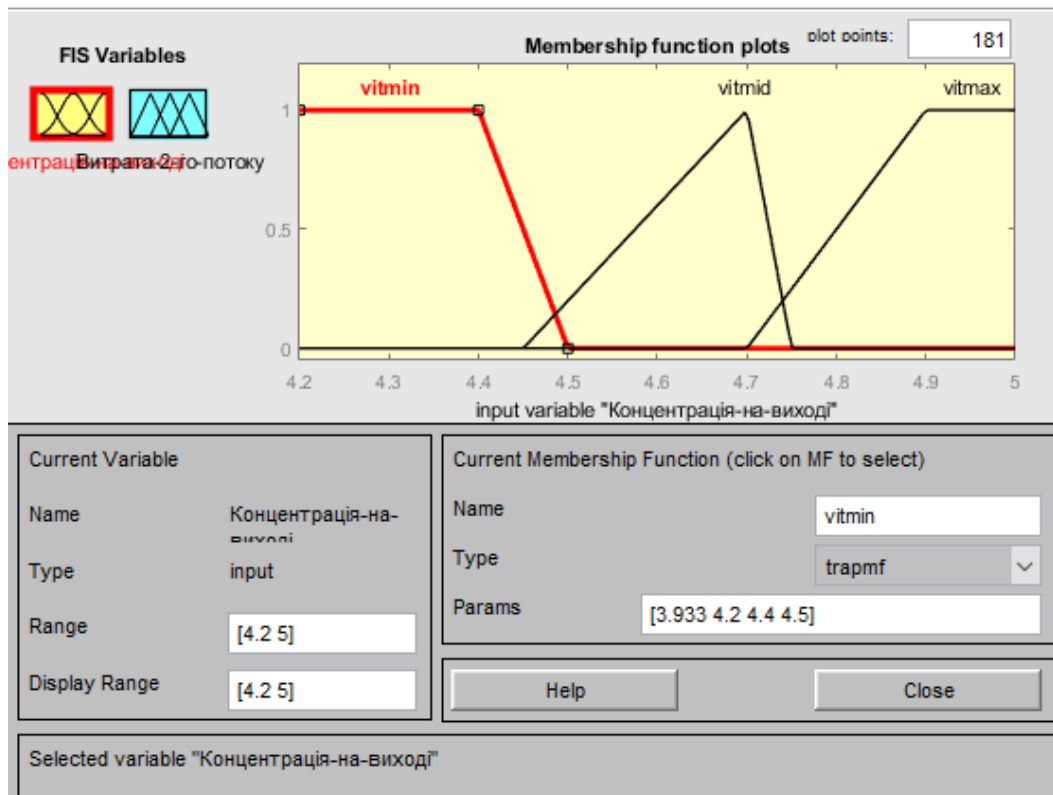


Рисунок 3.19 – Редактор функції належності для вхідної змінної Концентрація на виході

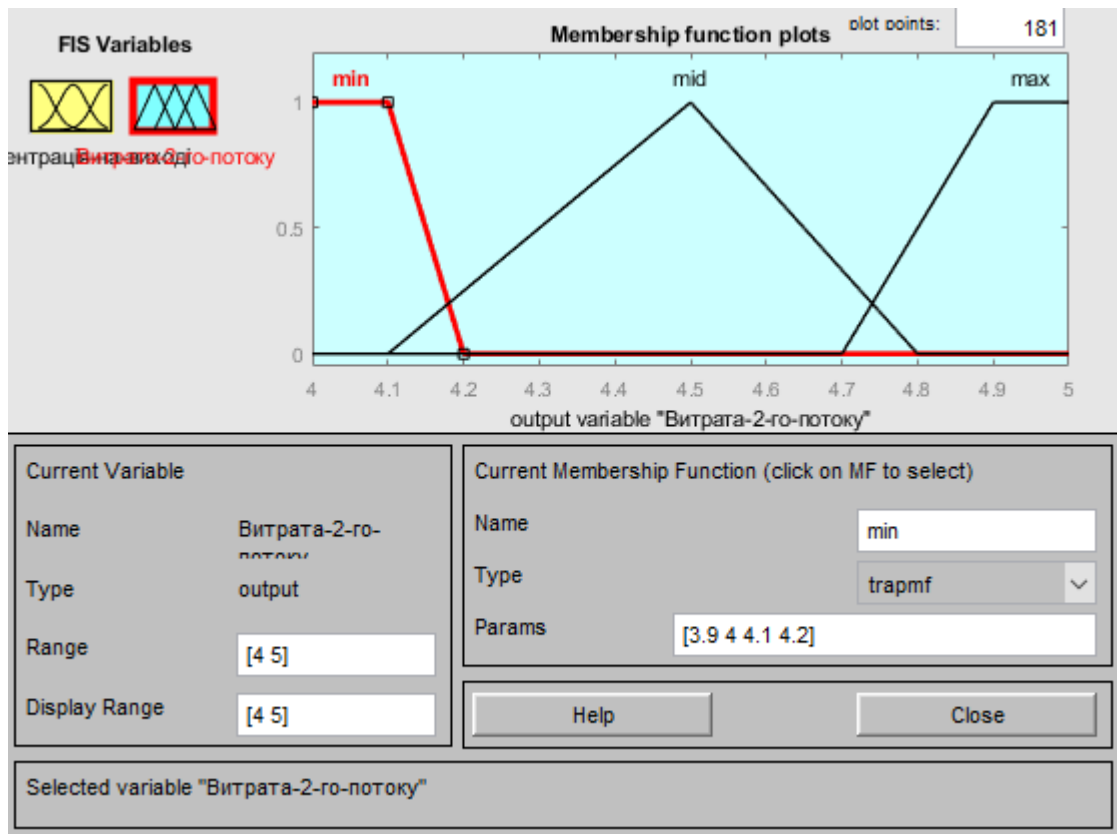


Рисунок 3.20 – Редактор функції належності для керувальної змінної Витрата 2-го потоку

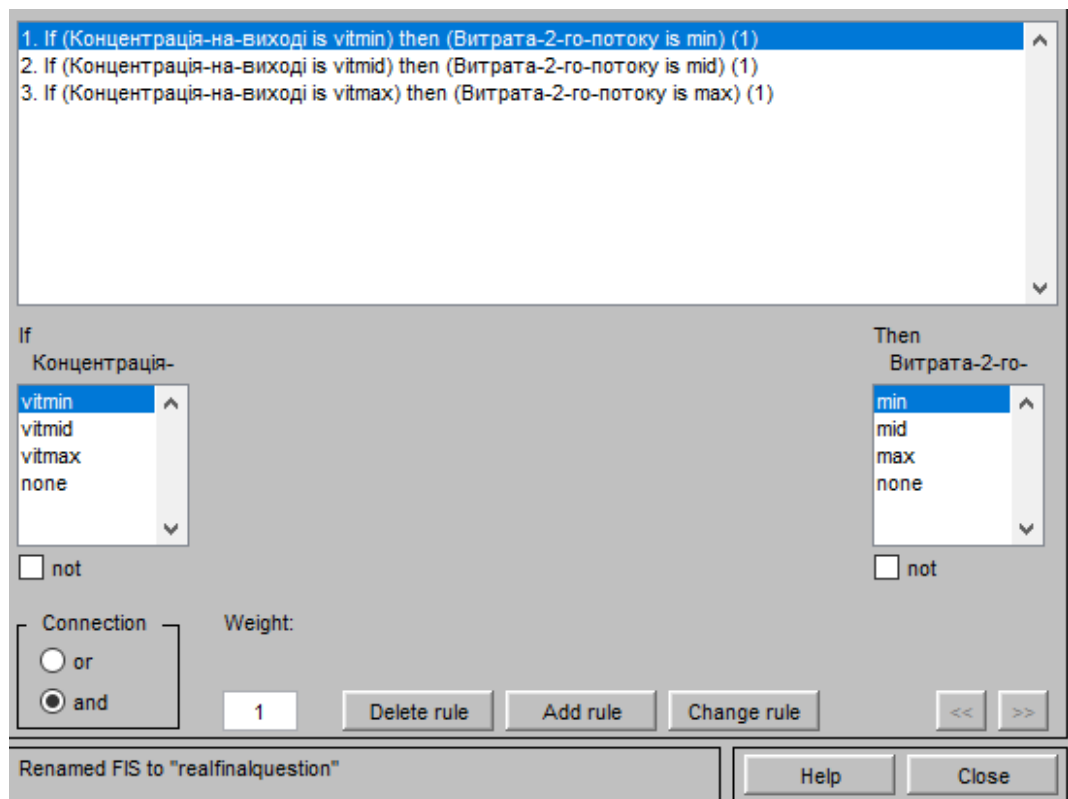


Рисунок 3.21 – Редактор правил продукції

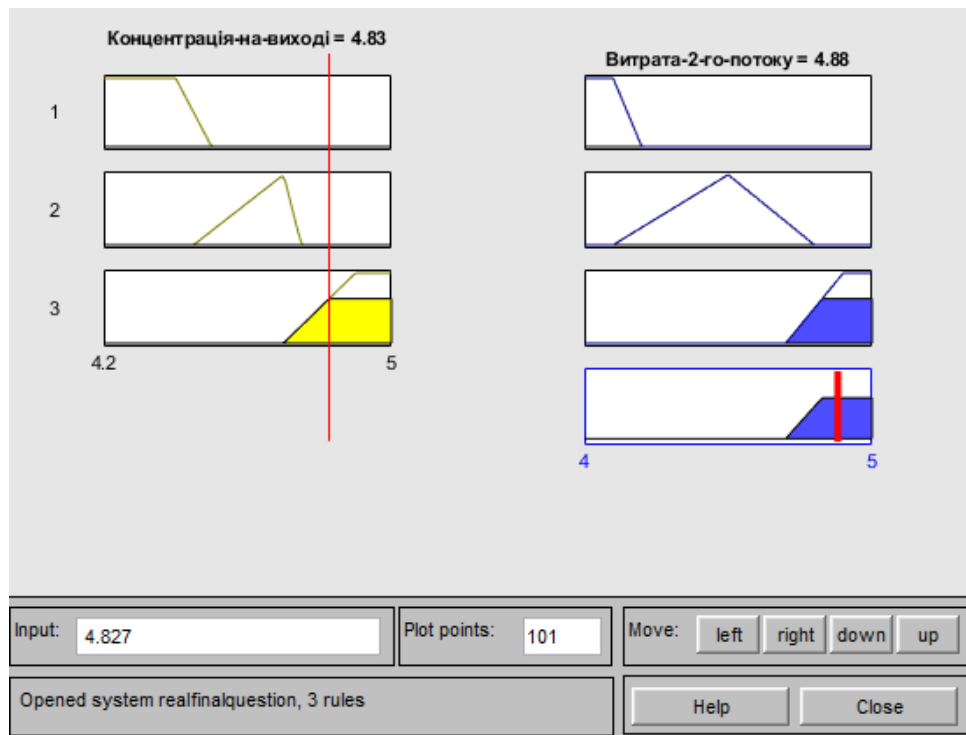


Рисунок 3.22 – Результат використання правил продукції

Видно що результати які були виконані в MathCad співпадають з результатами отриманими в MatLab.

Тепер введемо додаткову змінну описану вище, Концентрація потоку №2. Далі запишемо нові правила продукції.

1.If (Концентрація на виході = низька && концентрація 2-го потоку = низька)

{Витрата 2-го потоку = висока}

2.If (Концентрація на виході = низька && концентрація 2-го потоку = середня)

{Витрата 2-го потоку = вище середнього}

3.If (Концентрація на виході = низька && концентрація 2-го потоку=висока)

{Витрата 2-го потоку = середня}

4.If (Концентрація на виході = середня && концентрація 2-го потоку = низька)

{Витрата 2-го потоку = вище середнього}

5.If (Концентрація на виході = середня && концентрація 2-го потоку = середня)

{Витрата 2-го потоку = середня}

6.If (Концентрація на виході = середня && концентрація 2-го потоку = висока)

{Витрата 2-го потоку = нижче середнього}

7.If (Концентрація на виході = висока && концентрація 2-го потоку = низька)

{Витрата 2-го потоку = середня}

8.If (Концентрація на виході = висока && концентрація 2-го потоку = середня)

{Витрата 2-го потоку = нижче середнього}

9.If(Концентрація на виході = висока && концентрація 2-го потоку = висока)

{Витрата 2-го потоку = низька}

Синтез нечіткої системи керування виконаємо в MatLab Fuzzy Logic Toolbox.

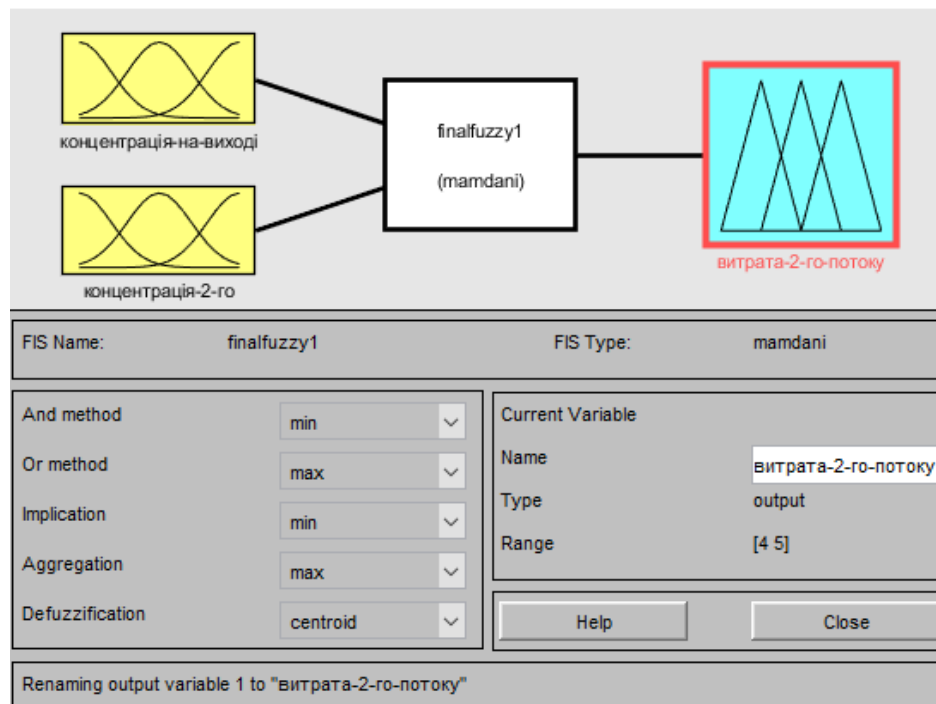


Рисунок 3.23 – Схема нечіткої системи керування

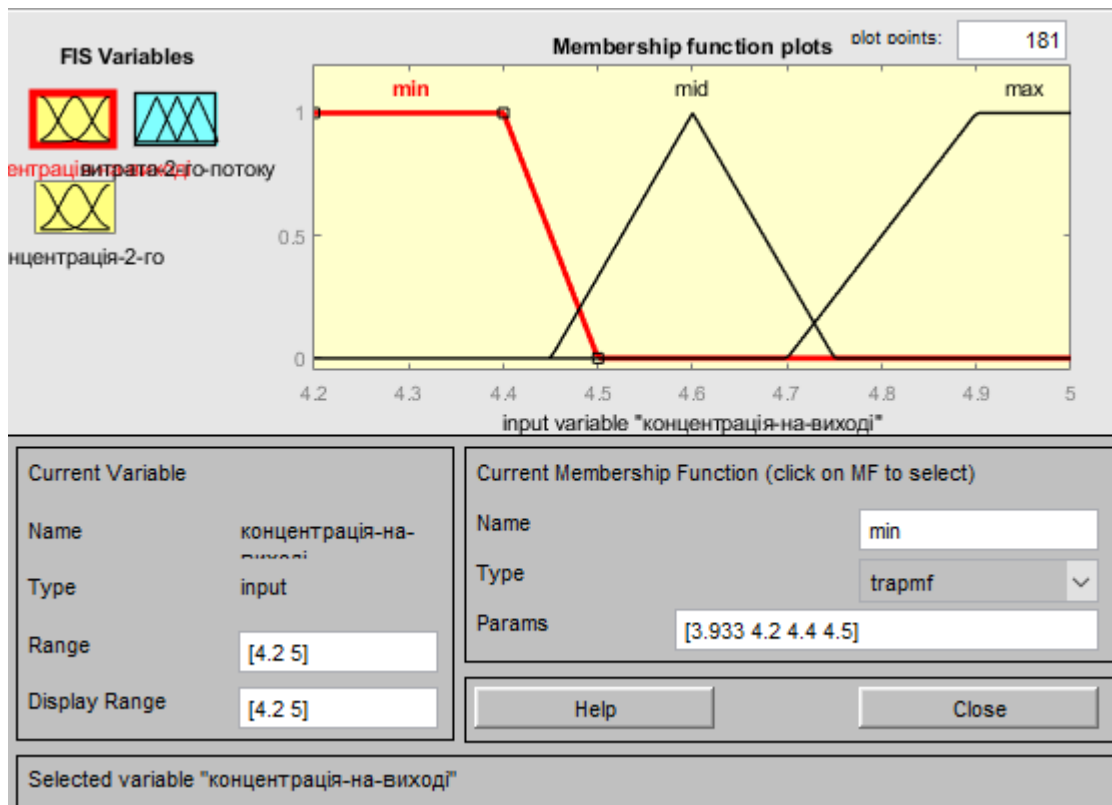


Рисунок 3.24 - Редактор функції належності для вхідної змінної Концентрація на виході

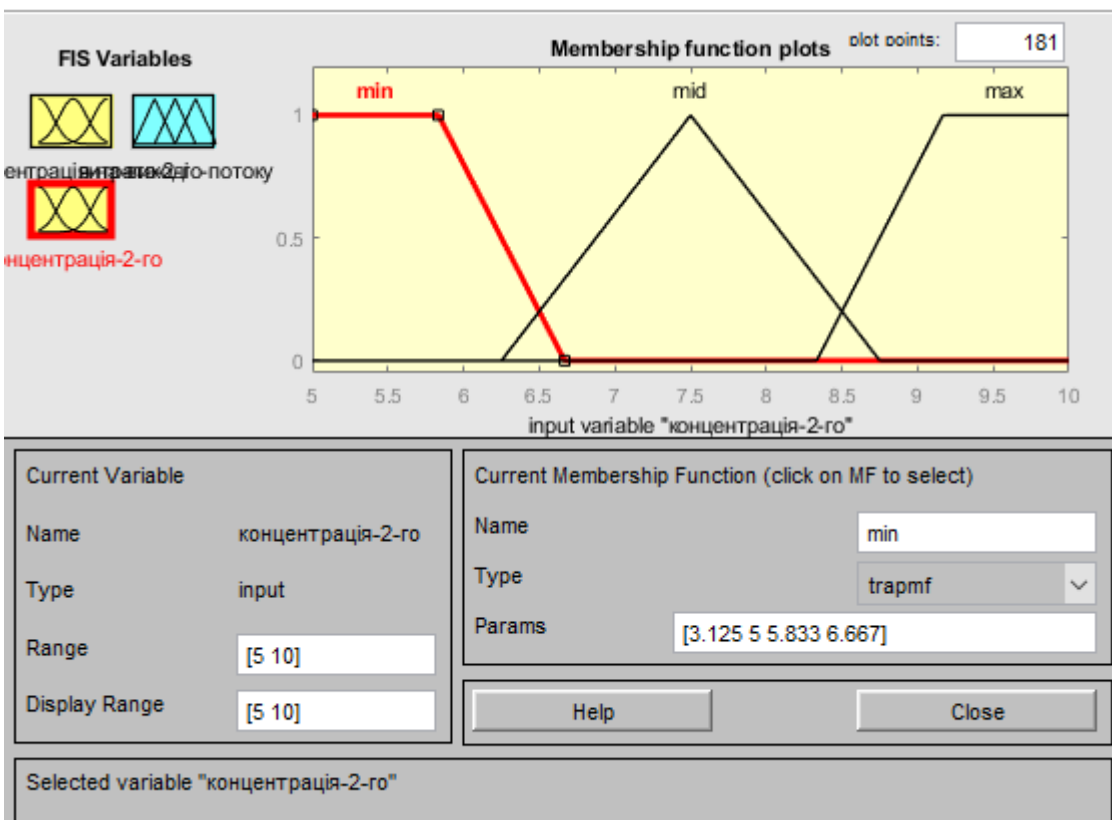


Рисунок 3.25 - Редактор функції належності для вхідної змінної Концентрація 2-го потоку

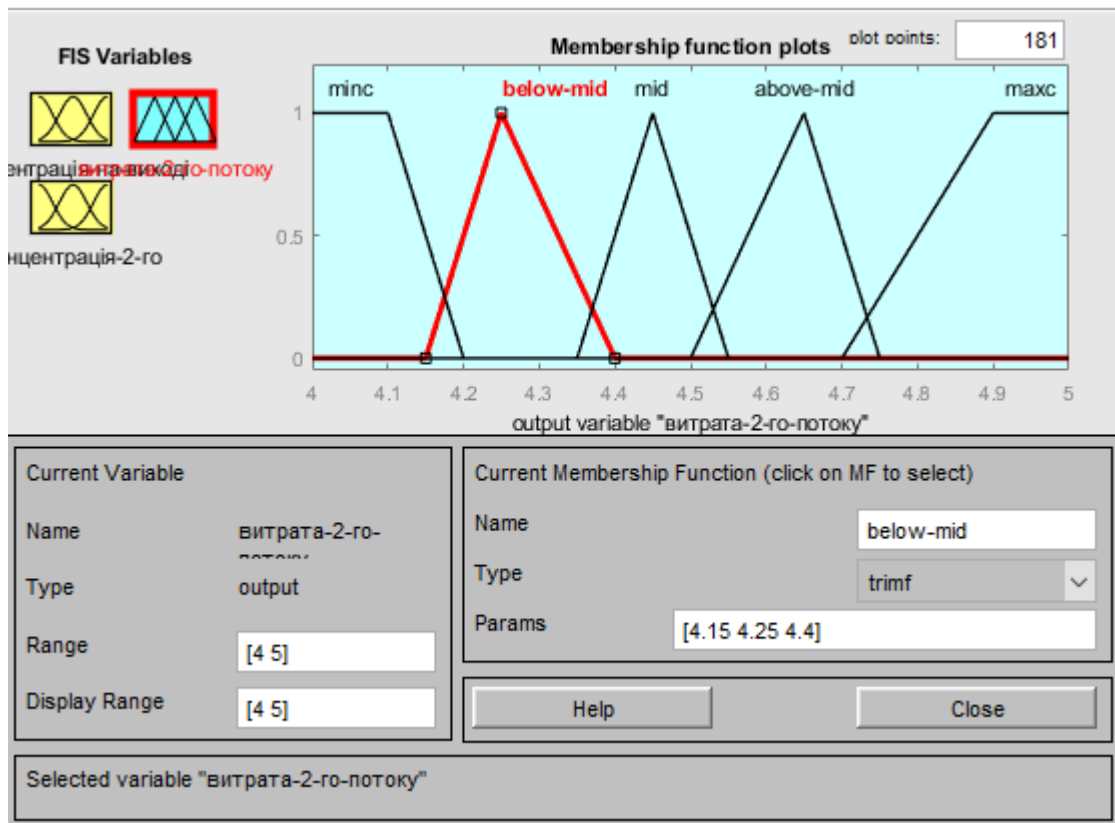


Рисунок 3.26 - Редактор функції належності для керувальної змінної
Витрата 2-го потоку

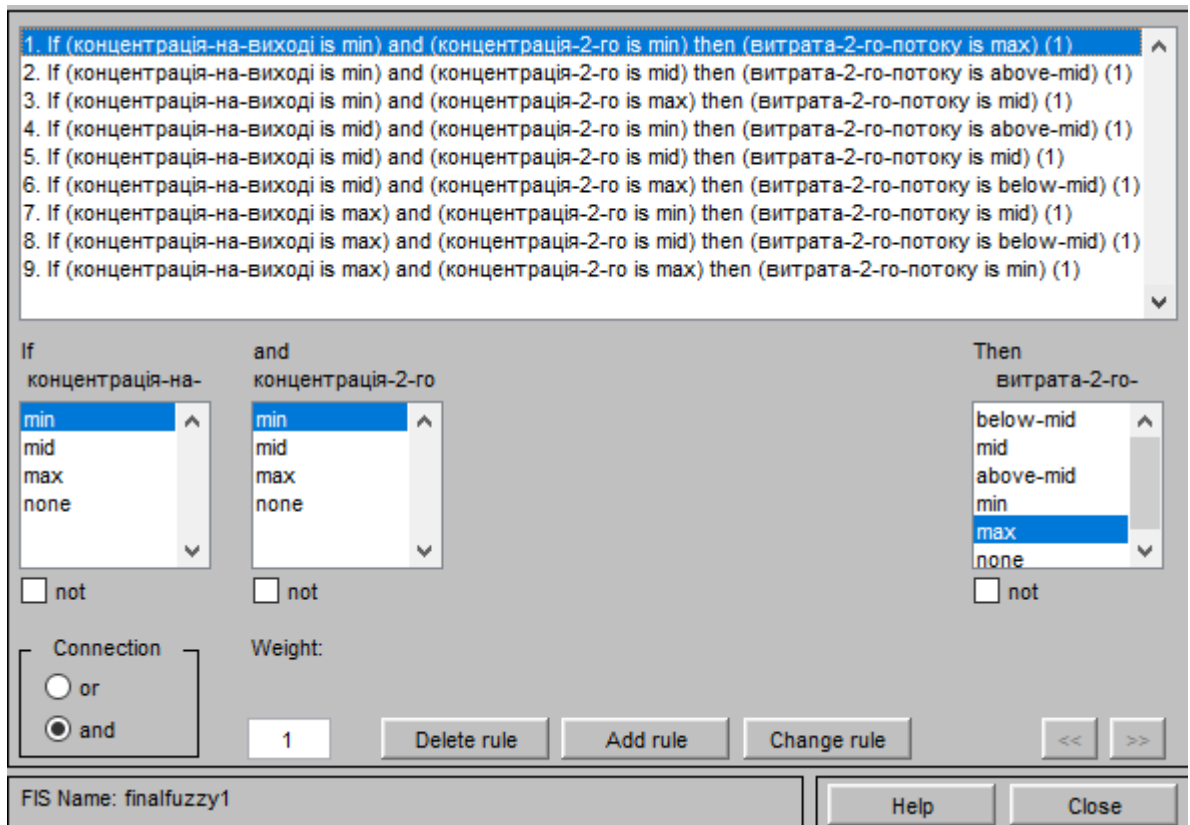


Рисунок 3.27 - Редактор правил продукції

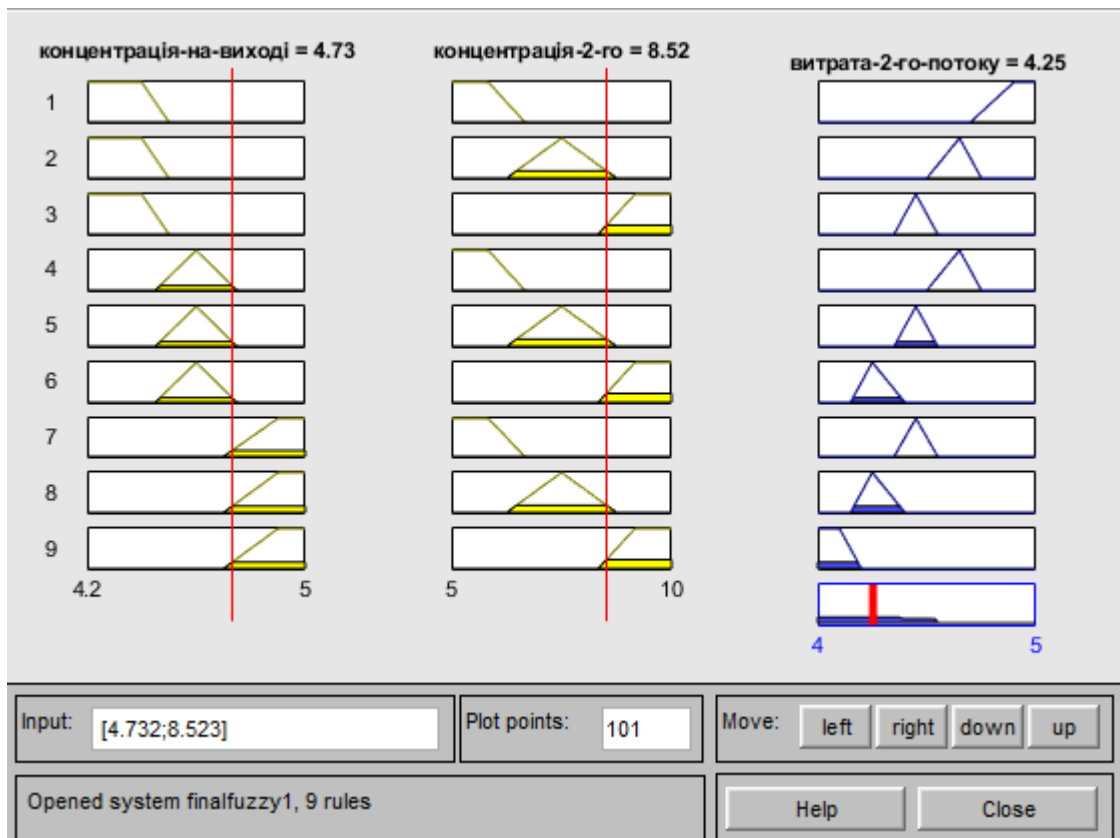


Рисунок 3.28 - Результат використання правил продукції

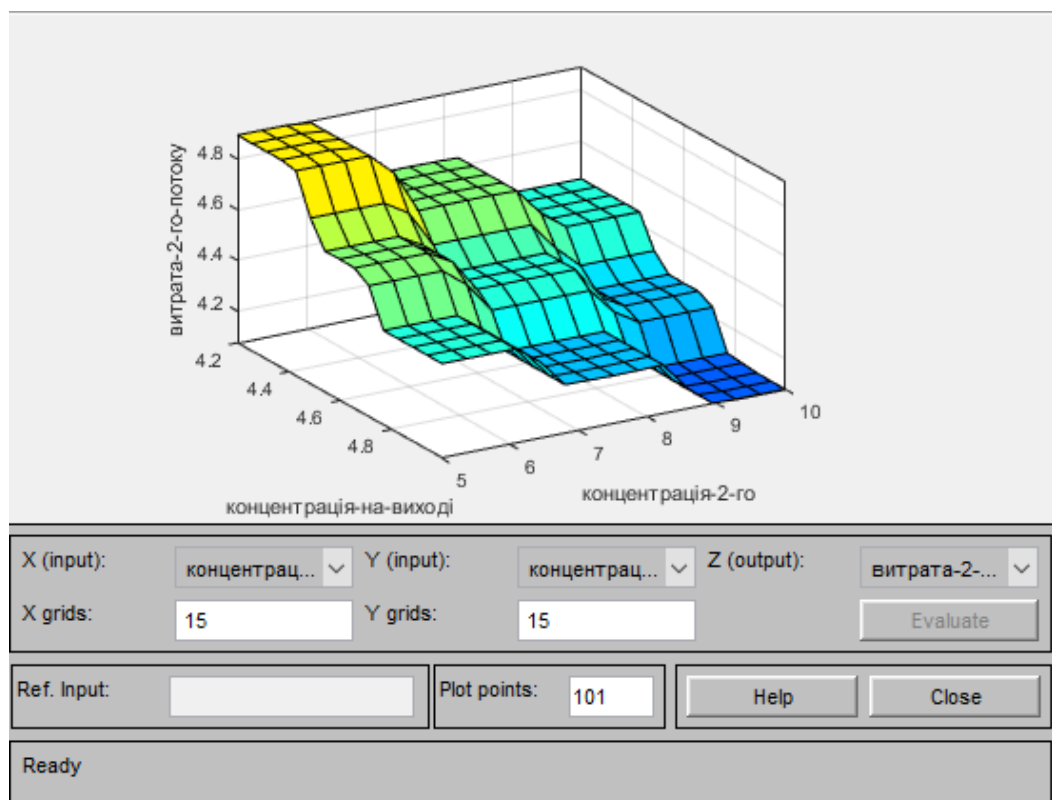


Рисунок 3.29 – Поверхня нечіткого висновку

3.4 Синтезування системи керування проточною ємністю

Після побудови системи керування та формування правил продукції в програмному додатку MathCad, для порівняння, побудуємо систему керування проточною ємністю в програмному додатку MatLab Simulink що зображена на рисунку 3.30.

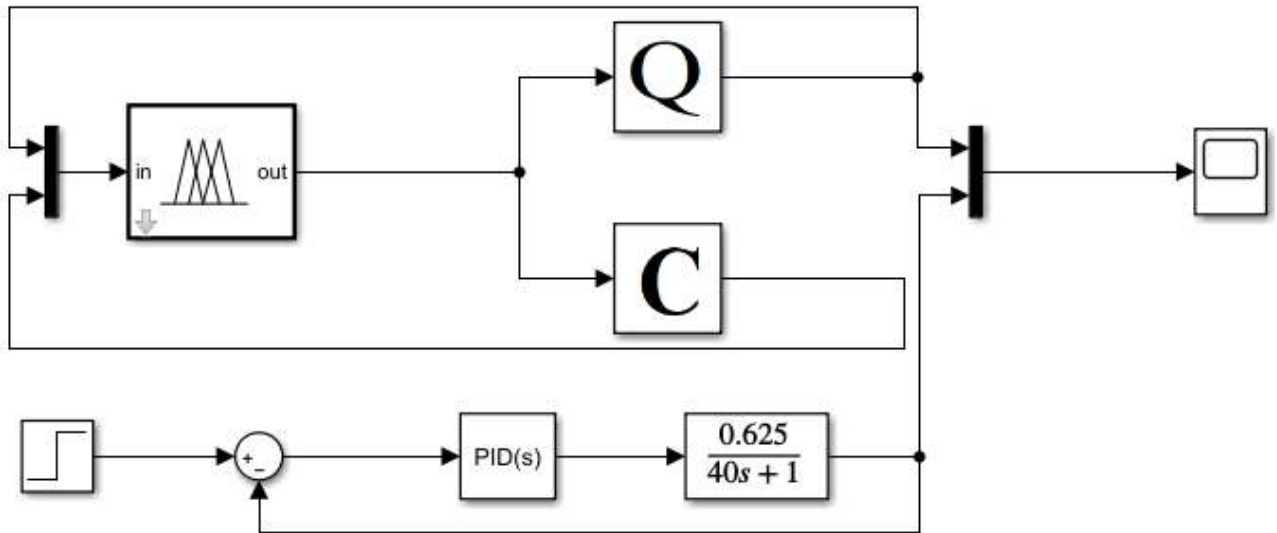


Рисунок 3.30 – Система керування проточною ємністю на основі методу нечіткої логіки

Описання складових роботи даної системи. Об'єкт керування в даній системі розділено на дві підсистеми - Концентрація потоку №2 та Рівень Брікса(концентрація на виході). Реалізація системи нечіткого керування було виконано в програмному додатку MatLab в додатковому блоці Simulink за допомогою Fuzzy Logic Controller. Для порівняння результатів реальною існуючою системою була обрана система з ПІД регулятором. Порівняння результатів зображено на рисунку 3.31.

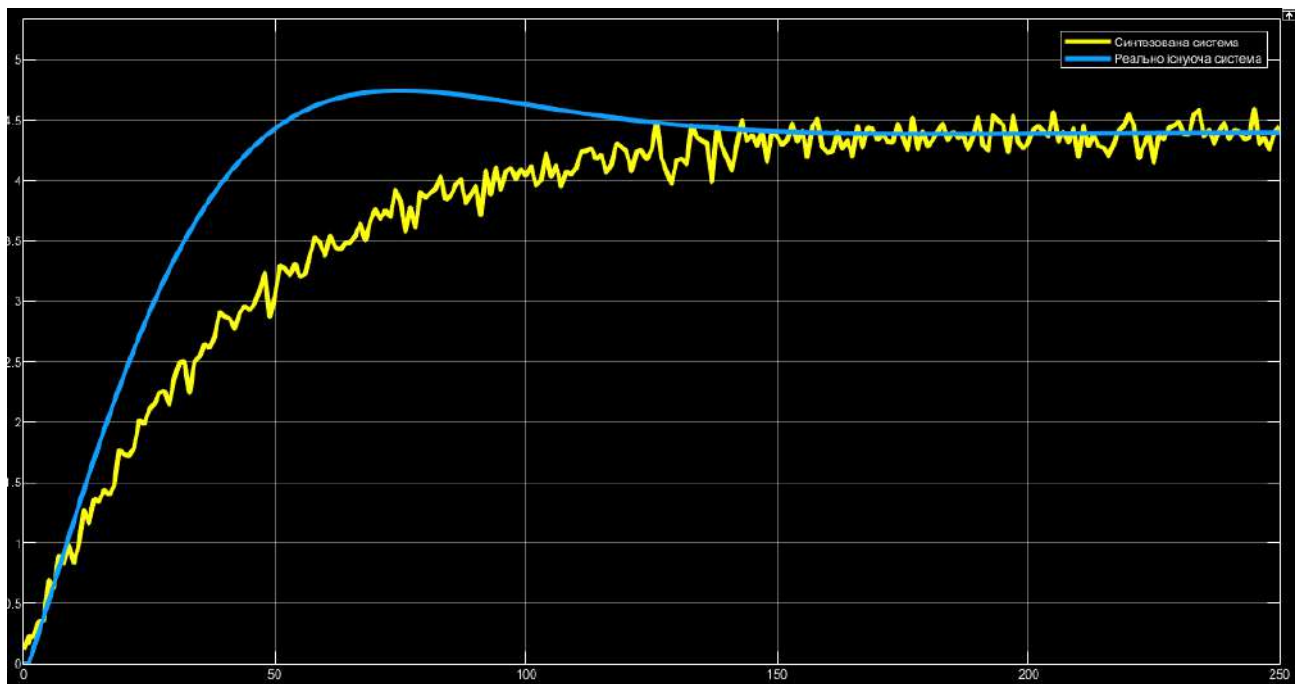


Рисунок 3.31- Порівняння результатів систем керування

З отриманого графіку зрозуміло, що наша система керування відповідає технологічним нормам процесу, має задовільний результат для впровадження її на виробництві. Порівнявши отримані данні двох систем, а саме нашої та реально існуючої системи з ПІД регулятором, видно, що вони мають схожі характеристики, проте синтезована система на базі нечіткої логіки має основну перевагу, в незалежності від того, що вона має більший час виходу на усталений рівень в порівнянні з еталоном, а саме 10-20 секунд, вони є незначними в порівнянні з тим, що в нашій системі відсутнє перерегулювання. Цей фактор вагомо впливає на якість вихідного продукту, оскільки за рахунок більш плавного керування середньоквадратичне відхилення рівня Брікса на виході, мінімізується, що дає змогу його утримувати на середньому рівні технологічних норм.

Висновок до 3 розділу

В цьому розділі було синтезовано систему керування проточною ємністю для змішування використовуючи алгоритм на базі нечіткої логіки в програмному пакеті Fuzzy Logic Tool. Було виконано порівняння двох систем, а саме, синтезовану та еталонну, якою виступає реальна система з ПД регулятором. Отримані результати задовільняють технологічний режим.

4. ПОБУДОВА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА КОНТРОЛЮ ДАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТА

Даний розділ спрямований на рішення прикладної задачі - побудови системи моніторингу та контролю даних технологічного об'єкта, а саме проточної ємності для змішування рідин. Одним з основних моментів автоматизованої системи керування – є можливість комфортної та безперебійної системи обробки даних. Дана система необхідна задля впровадження її в систему диспетчеризації виробництва для подальшої роботи оператора. Даний розділ вирішує задачу постійного моніторингу за перебігом технологічного процесу, що дає змогу спеціалісту вчасно втрутитись в процес задля уникнення аварійної ситуації, основні з яких можуть призвести до браку продукту, або ж навіть летальних випадків.

Контроль здійснюється за більшістю параметрів, як прямих, так і опосередкованих. Прямі – параметри, що безпосередньо впливають на якість вихідного продукту та є його показниками. До них відносять, рівень Брікса вихідного продукту(наша основна керована та контрольована змінна); Витрата потоку №2(керувальний вплив); Концентрація потоку №2; Витрата та концентрація потоку №1. До опосередкованих змінних належать: масова витрата вихідного потоку, величина якої прямо вказує на продуктивність процесу; рівень в баці, контроль за яким попередить аварію на виробництві; тиск вхідних трубопроводів, що дає змогу відслідковувати постійну подачу сировини з попередніх етапів виробництва.

Система моніторингу та контролю даних технологічного об'єкту побудуємо за наступним принципом: для вимірювання вище перерахованих змінних встановлюються місцеві датчики, інформацію з яких збирає мікроконтроллер ESP-32. Перевагою даного контролера є те, що його апаратна частина має змогу виходу в інтернет, чим ми і скористаємося. Оброблені дані

надсилаються до хмарного сховища (серверу), та відображаються у зручному форматі на екрані диспетчерського пункту, робоче місце оператора.

Почнемо з ініціалізації бібліотек а саме доступ до інтернету(Wifi), визначення фреймворку ардуіно(ESP32 or ESP8266),бібліотека для вбудованих систем для впровадження нечіткої логіки (Fuzzy), бібліотека хмарного сховища(Firebase), надання повідомлення про завантаження інформації(TokenHelper).

```
#if defined(ESP32)
#include <WiFi.h>
#elif defined(ESP8266)
#include <ESP8266WiFi.h>
#endif
#include <Fuzzy.h>
#include <Firebase_ESP_Client.h>
#include <addons/TokenHelper.h>
```

Ініціалізація даних підключення до інтернету.

```
#define WIFI_SSID "HonorTop"
#define WIFI_PASSWORD "12345678"
```

Ініціалізація даних унікального ідентифікатора для аутинтифікації користувача, ідентифікатора назви проекту.

```
#define API_KEY "AIzaSyBE0uM6-cMcOFYgUaDQteN6F586cDFisvI"
#define FIREBASE_PROJECT_ID "test-project101"
```

Авторизація користувача за даними електронної пошти та паролю від неї.

```
#define USER_EMAIL "makswel1206@gmail.com"
#define USER_PASSWORD "Winchester=206"
```

Ініціалізація об'єкту нечіткої логіки.

```
Fuzzy *fuzzy = new Fuzzy();
```

Ініціалізація вхідних термів Вихідної концентрації, концентрації 2-го потоку.

```
FuzzySet *minim = new FuzzySet(3.9, 4.2, 4.4, 4.5);
FuzzySet *medi = new FuzzySet(4.45, 4.6, 4.6, 4.75);
```

```
FuzzySet *maxi = new FuzzySet(4.7, 4.95, 5, 5);
```

```
FuzzySet *min1 = new FuzzySet(5, 5, 5.8, 6.7);
```

```
FuzzySet *mid1 = new FuzzySet(6.25, 7.5, 7.5, 8.75);
```

```
FuzzySet *max1 = new FuzzySet(8.3, 9.2, 10.0, 10.0);
```

Ініціалізація терму витрата 2-го потоку.

```
FuzzySet *min2 = new FuzzySet(4, 4, 4.1, 4.2);
```

```
FuzzySet *below_mid = new FuzzySet(4.15, 4.25, 4.25, 4.4);
```

```
FuzzySet *mid2 = new FuzzySet(4.35, 4.45, 4.45, 4.55);
```

```
FuzzySet *above_mid = new FuzzySet(4.5, 4.65, 4.65, 4.75);
```

```
FuzzySet *max2 = new FuzzySet(4.7, 4.9, 5, 55);
```

Ініціалізація об'єкта хмарного сховища.

```
FirebaseData fbdo;
```

Ідентифікатор аутентифікації користувача, конфігурації

```
FirebaseAuth auth;
```

```
FirebaseConfig config;
```

Ініціалізація змінних.

```
unsigned long dataMillis = 0;
```

```
int count = 0;
```

```
double inputa;
```

```
double inputb;
```

```
double input1;
```

```
double inputc;
```

```
double inputd;
```

```
double input2;
```

```
double output1;
```

```
double V;
```

```
double C1;  
    Serial.begin(115200);
```

Задання вхідної змінної нечіткої логіки.

```
FuzzyInput *CinExit = new FuzzyInput(1);
```

Задання параметрів змінній нечіткої логіки

```
CinExit->addFuzzySet(minim);  
CinExit->addFuzzySet(medi);  
CinExit->addFuzzySet(maxi);  
fuzzy->addFuzzyInput(CinExit);
```

```
FuzzyInput *C2 = new FuzzyInput(2);  
C2->addFuzzySet(min1);  
C2->addFuzzySet(mid1);  
C2->addFuzzySet(max1);  
fuzzy->addFuzzyInput(C2);
```

Задання вихідної змінної нечіткої логіки та її параметрів

```
FuzzyOutput *Q2 = new FuzzyOutput(1);  
  
Q2->addFuzzySet(min2);  
Q2->addFuzzySet(below_mid);  
Q2->addFuzzySet(mid2);  
Q2->addFuzzySet(above_mid);  
Q2->addFuzzySet(max2);  
fuzzy->addFuzzyOutput(Q2);
```

Задання правил продукції нечіткої логіки

```
FuzzyRuleAntecedent *ifCinExitminandC2min = new
FuzzyRuleAntecedent();
ifCinExitminandC2min->joinWithAND(minim,min1);
FuzzyRuleConsequent *thenQ2max = new
FuzzyRuleConsequent();
thenQ2max->addOutput(max2);
FuzzyRule *fuzzyRule01 = new FuzzyRule(1,
ifCinExitminandC2min, thenQ2max);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule01);

FuzzyRuleAntecedent *ifCinExitminandC2mid = new
FuzzyRuleAntecedent();
ifCinExitminandC2mid->joinWithAND(minim,mid1);
FuzzyRuleConsequent *thenQ2abovemid = new
FuzzyRuleConsequent();
thenQ2abovemid->addOutput(above_mid);
FuzzyRule *fuzzyRule02 = new FuzzyRule(2,
ifCinExitminandC2mid, thenQ2abovemid);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule02);

FuzzyRuleAntecedent *ifCinExitminandC2max= new
FuzzyRuleAntecedent();
ifCinExitminandC2max->joinWithAND(minim,max1);
FuzzyRuleConsequent *thenQ2mid = new
FuzzyRuleConsequent();
thenQ2mid->addOutput(mid2);
FuzzyRule *fuzzyRule03 = new FuzzyRule(3,
ifCinExitminandC2max, thenQ2mid);
```



```

fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule03);

    FuzzyRuleAntecedent    *ifCinExitmidandC2min=    new
FuzzyRuleAntecedent();
    ifCinExitmidandC2min->joinWithAND(medi,min1);
    FuzzyRuleConsequent    *thenQ2abovemid1    =    new
FuzzyRuleConsequent();
    thenQ2abovemid1->addOutput(above_mid);
    FuzzyRule    *fuzzyRule04    =    new    FuzzyRule(4,
ifCinExitmidandC2min, thenQ2abovemid1);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule04);

    FuzzyRuleAntecedent    *ifCinExitmidandC2mid=    new
FuzzyRuleAntecedent();
    ifCinExitmidandC2mid->joinWithAND(medi,mid1);
    FuzzyRuleConsequent    *thenQ2mid1    =    new
FuzzyRuleConsequent();
    thenQ2mid1->addOutput(mid2);
    FuzzyRule    *fuzzyRule05    =    new    FuzzyRule(5,
ifCinExitmidandC2mid, thenQ2mid1);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule05);

    FuzzyRuleAntecedent    *ifCinExitmidandC2max=    new
FuzzyRuleAntecedent();
    ifCinExitmidandC2max->joinWithAND(medi,max1);
    FuzzyRuleConsequent    *thenQ2belowmid    =    new
FuzzyRuleConsequent();
    thenQ2belowmid->addOutput(below_mid);

```

```

        FuzzyRule    *fuzzyRule06    =    new    FuzzyRule(6,
ifCinExitmidandC2max, thenQ2belowmid);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule06);

        FuzzyRuleAntecedent    *ifCinExitmaxandC2min=    new
FuzzyRuleAntecedent();
    ifCinExitmaxandC2min->joinWithAND(maxi,min1);
        FuzzyRuleConsequent    *thenQ2mid2    =    new
FuzzyRuleConsequent();
    thenQ2mid2->addOutput(mid2);
        FuzzyRule    *fuzzyRule07    =    new    FuzzyRule(7,
ifCinExitmaxandC2min, thenQ2mid2);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule07);

        FuzzyRuleAntecedent    *ifCinExitmaxandC2mid=    new
FuzzyRuleAntecedent();
    ifCinExitmaxandC2mid->joinWithAND(maxi,mid1);
        FuzzyRuleConsequent    *thenQ2belowmid2    =    new
FuzzyRuleConsequent();
    thenQ2belowmid2->addOutput(below_mid);
        FuzzyRule    *fuzzyRule08    =    new    FuzzyRule(8,
ifCinExitmaxandC2mid, thenQ2belowmid2);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule08);

        FuzzyRuleAntecedent    *ifCinExitmaxandC2max=    new
FuzzyRuleAntecedent();
    ifCinExitmaxandC2max->joinWithAND(maxi,max1);
        FuzzyRuleConsequent    *thenQ2min    =    new
FuzzyRuleConsequent();

```

```

    thenQ2min->addOutput(min2);
    FuzzyRule *fuzzyRule09 = new FuzzyRule(9,
ifCinExitmaxandC2max, thenQ2min);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule09);
Ініціалізація підключення до Вай фаю
    WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
    Serial.print("Connecting to Wi-Fi");
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
    {
        Serial.print(".");
        delay(300);
    }
    Serial.println();
    Serial.print("Connected with IP: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
    Serial.println();

        Serial.printf("Firebase Client v%s\n\n",
FIREBASE_CLIENT_VERSION);
    Зчитування особистих даних для аутентифікації
    config.api_key = API_KEY;
    auth.user.email = USER_EMAIL;
    auth.user.password = USER_PASSWORD;
    config.token_status_callback = tokenStatusCallback;

#if defined(ESP8266)

    fbdo.setBSSLBufferSize(2048, 2048);
#endif

```

```

    fbdo.setResponseSize(2048);

    Firebase.begin(&config, &auth);

    Firebase.reconnectWiFi(true);
}

```

```

void loop()
{

```

Ініціалізація підключення до хмарного сховища та задання інтервалу оновлення даних

```

    if (Firebase.ready() && (millis() - dataMillis > 30000
|| dataMillis == 0))
    {
        dataMillis = millis();
        count++;

```

Створення динамічного масиву для запису
std::vector<struct fb_esp_firestore_document_write_t> writes;

Об'єкт який буде записано в документ

```

struct fb_esp_firestore_document_write_t transform_write;

```

Задання операції запису об'єкта

```

transform_write.type=fb_esp_firestore_document_write_type_
transform;

```

Задання шляху запису об'єкта

```

transform_write.document_transform.transform_documen
t_path = "Info/Indicators";

```

```

    struct fb_esp_firestore_document_write_field_transforms_t
field_transforms;
    field_transforms.fieldPath = "server_time";
    field_transforms.transform_type =
fb_esp_firestore_transform_type_set_to_server_value;
    field_transforms.transform_content =
"REQUEST_TIME";

```

Додавання поля об'єкта в структуру таблиці

```

    transform_write.document_transform.field_transform
s.push_back(field_transforms);

```

writes.push_back(transform_write);

Передача даних на хмарне сховище

```

    if (Firebase.Firestore.commitDocument(&fbdo,
FIREBASE_PROJECT_ID, "", writes, ""))

```

```

        Serial.printf("ok\n%s\n\n",

```

```

fbdo.payload().c_str());

```

else

```

    Serial.println(fbdo.errorReason());

```

Підключення датчиків

```

input1 = random(420, 500) / 100.0;

```

```

input2 = random(500, 1000) / 100.0;

```

```

C1 = random(420, 500) / 100.0;

```

```

V = random(10, 60) / 100.0;

```

Створення об'єкту

```

FirebaseJson content;

```

Задання шляху об'єкта

```

String documentPath = "Info/Indicators";

```

Відображення даних на сервері

```

String CF = String(input1) + " %";

```

```
String Con2 = String(input2) + " %";
String Con1 = String(C1) + " kg/m3";
String capacity1 = String(C1) + " m3";
```

Формування та задання полів та їх показників.

```
        content.set("fields/Final_Concentration/string
Value", CF);
        content.set("fields/Second_Flow_Concentration/
stringValue", Con2);
        content.set("fields/First_Flow_Rate/stringValu
e", Con1);
        content.set("fields/Tank_Capacity/stringValue",
capacity1);
        content.set("fields/count/integerValue",
String(count).c_str());
```

Передача змінних нечіткої логіки

```
        fuzzy->setInput(1,input1);
        fuzzy->setInput(2,input2);
        fuzzy->fuzzify();
        output1 = fuzzy->defuzzify(1);
        String FL2 = String(output1) + " m3/h";
        content.set("fields/Second_Flow_Rate/stringVal
ue", FL2);
```

Пропишемо аварійні випадки

```
        if(input1 >= 4.8 && input2 >= 9 )
            content.set("fields/Status/stringValue",
"Warning, reduce flow rate ");
        else
            if (input1 <= 4.4 && input2 <= 5.8 )
```

```

        content.set("fields/Status/stringValue",
"increase flow rate");
    else
        content.set("fields/Status/stringValue",
"stable flow rate");
    Відправлення даних та створення(оновлення) даних таблиці
        Serial.print("Update a document... ");
        if (Firebase.Firestore.patchDocument(&fbdo,
FIREBASE_PROJECT_ID, "" /* databaseId can be (default) or
empty */ , documentPath.c_str(), content.raw(),
"Final_Concentration,Second_Flow_Concentration,First_Flow_Ra
te,Tank_Capacity,count,Second_Flow_Rate,Status" /* updateMask
*/))
            Serial.printf("ok\n%s\n\n",
fbdo.payload().c_str());
        else
            Serial.println(fbdo.errorReason());

        Serial.print("Create a document... ");

        if (Firebase.Firestore.createDocument(&fbdo,
FIREBASE_PROJECT_ID, "" /* databaseId can be (default) or
empty */ , documentPath.c_str(), content.raw()))
            Serial.printf("ok\n%s\n\n",
fbdo.payload().c_str());
        else
            Serial.println(fbdo.errorReason());
    }
}

```

Налаштування хмарного сховища наведено на рисунку 4.1

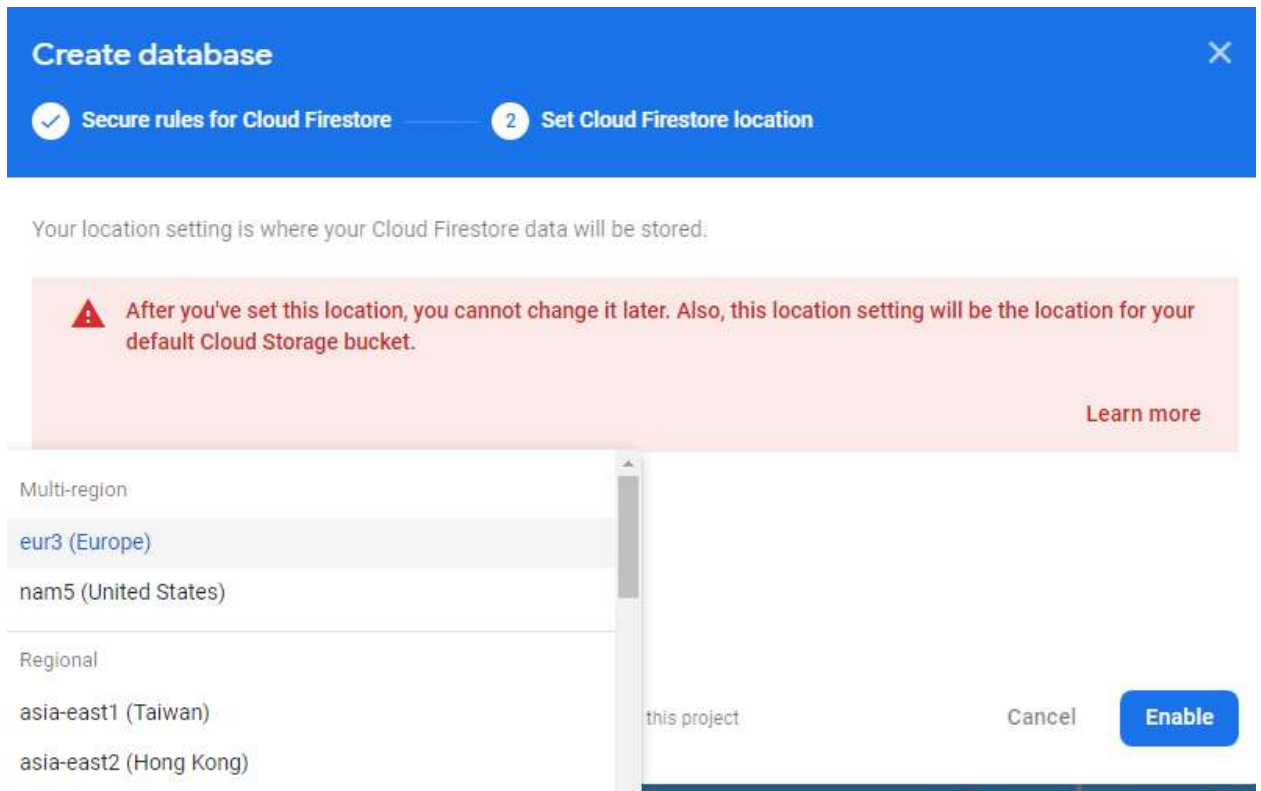


Рисунок 4.1 – Вибір серверу хмарного сховища

```
1 rules_version = '2';
2 service cloud.firestore {
3   match /databases/{database}/documents {
4     match /{document=**} {
5       allow read, write: if request.auth != null;
6     }
7   }
8 }
```

Рисунок 4.2 – Редагування правил зчитування, запис даних на сервері

☰ Indicators

+ Start collection

+ Add field

Final_Concentration: "4.89 %"

First_Flow_Rate: "4.69 kg/m³"

Second_Flow_Concentration: "9.81 %"

Second_Flow_Rate: "4.08 m³/h"

Status: "Warning, reduce flow rate "

Tank_Capacity: "4.69 m³"

count: 13

server_time: 11 December 2022 at
17:11:35 UTC+2

Рисунок 4.3 – Результат роботи програми

Для порівняння отриманих результатів звіремо дані отримані з синтезованою системою. Результат показано на рисунку 4.4.

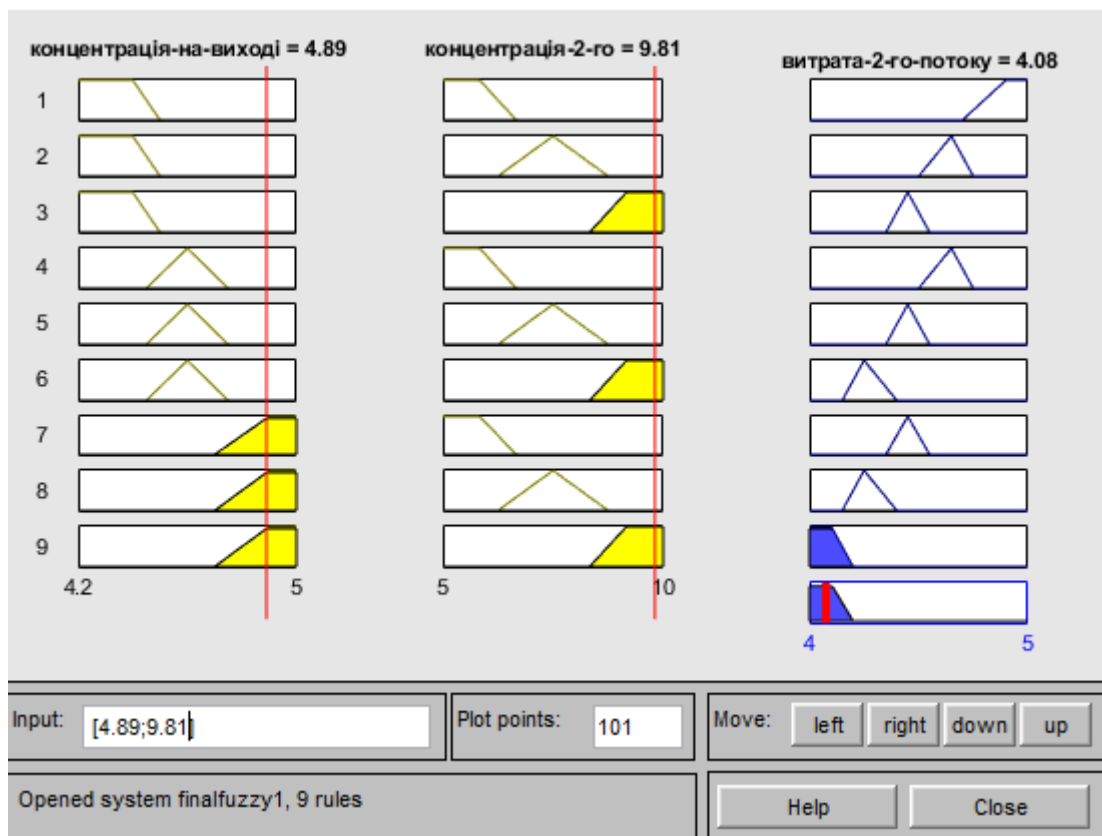


Рисунок 4.4 – Результат роботи синтезованої системи

З отриманих даних очевидно що дані співпадають, отже програма працює коректно.

Висновки до розділу 4

В даному розділі було вирішено прикладну задачу, а саме побудовано систему моніторингу та контролю даних технологічного об'єкта, а саме проточної ємності для змішування рідин. Вирішено задачу постійного моніторингу за перебігом технологічного процесу, що дає змогу спеціалісту вчасно втрутитись в процес задля уникнення аварійної ситуації, основні з яких можуть призвести до браку продукту, або ж навіть летальних випадків.

З отриманих результатів очевидно, що система є адекватною і може бути впроваджена на виробництві.

5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1 Опис ідеї стартап-проекту

1. Ідея стартап-проекту являє собою розробку інтелектуальної системи контролю та управління виробничими процесами. Задля покращення і збільшення продуктивності виробництва соку потребується синтезувати систему керування технологічним об'єктом.

2. Основними споживачами на ринку є підприємства харчової промисловості.

На даний момент часу є багато підприємств та компаній, що створюють системи керування, через що конкуренція на ринку доволі велика.

Так як на сьогоднішній день економічний стан держави не дуже стабільний, отримати фінансування стартап-проекту майже неможливо, навіть при наявності значного бізнес плану, майна для застави, проект під венчурне підприємство зовнішнього типу. Дане підприємство підпадає під категорію підприємств малого бізнесу.

Через ріст інформаційних технологій з часом для проекту з'являються ідеальні умови для створення ідей на ринку. Саме через стрімкий ріст технологій промисловість країн набирає оборотів, через що попит на нові пристрої та ідеї зростає.

3. Конкурентно-спроможними в цій сфері являються фахівці-технологи які розглядають проблему покращення якості та збільшення виробництва продукту.

Основною перевагою нашої системи є : вдосконалення системи керування проточною ємністю для змішування рідин.

Цільовою аудиторією являються: завод з виробництва соку Sandora, Rich і тд.

4. Фінансування: для впровадження програми та технології покращення необхідно близько 20 тис.грн.

5. Джерела фінансування: Sandora, Rich і т.д., що зацікавлений у збільшенні продуктивності та якості вихідного продукту.

6. Проблема процесу

Проаналізувавши існуючі системи керування проточною ємністю, видно, що в усіх них є суттєвий недолік, такий як перерегулювання, що негативно впливає на якість вихідного продукту. Даний фактор впливає із особливостей існуючих систем на базі різноманітних регуляторів, наприклад таких як ПД регулятор. Для покращення якості вихідного продукту, слідом і продуктивності перебігу технологічного процесу, постає задача розробки абсолютно нового підходу та принципу керування, що зміг би задовольнити і усунути вище перераховані недоліки.

5.2 Аналіз зовнішнього маркетингово середовища. Аналіз факторів макромаркетингового середовища

Таблиця 5.1. Аналіз внутрішнього маркетингового середовища

ФАКТОРИ	ВПЛИВ		Наші дії
	проблема	можливість	
Стратегічне планування	Труднощі виходу на більш серйозний рівень компанії, подолання зовнішніх факторів		Покращення стратегії розвитку компанії, провести необхідні дослідження для подолання факторів
Недостатнє фінансування	Перенос обладнання.		Знаходження зовнішнього інвестування, інвесторів, створення нового фінансового плану
Інноваційні технології	Втрата замовників	Поява нових замовників	Залучення нових клієнтів новими технологіями

Таблиця 5.2. Аналіз зовнішнього маркетингового середовища

ФАКТОРИ	ВПЛИВ		Наші дії
	проблема	можливість	
ЕКОНОМІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ 1.	Зростання інфляції	Зменшення цінності заощаджень компанії	Проведення фінансових операцій направлених на збереження заощаджень компанії
2.	Збільшення росту курсу долара	Збільшення цін на обладнання	Перенаправлення на європейські напрямки
3.	Зміна системи оподаткування	Зменшення засобів із виробництва в бюджет. Зменшення або зростання попиту на товари	Підвищення цін на продукт. Пошук шляхів скорочення податків.
ПОЛІТИКО- ПРАВОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ 1.	Підтримка урядом конкурентів	Збільшення цінової конкуренції	Можливе зменшення кінцевих споживачів
2.	Збільшення спроб регулювання ринку урядом	Створення нових лобі в галузі	Прийняття участі в різних лобі і асоціаціях
3.	Орієнтація на ринкове регулювання економіки	Можливість вибору іншої сфери діяльності	Дослідження нових напрямків діяльності

Продовження-Таблиці 5.2. Аналіз зовнішнього маркетингового середовища

ПРИРОДНЄ СЕРЕДОВИЩЕ			
1.	Кліматичні умови	Підвищення попиту продукту	Всеоможливе розповсюдження продукту
ДЕМОГРАФІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ	Низька народжуваність	Зменшення попиту	Збільшення споживачів середнього та похилого віку
1.			
2.	Міграція	Зменшення попиту	Залучення іноземних споживачів
СОЦІО- КУЛЬТУРНЕ СЕРЕДОВИЩЕ	Зниження рівня освіти	Виникнення конфліктних ситуацій на робочому місці.	Впровадження психологічних спеціалістів та проведення консультацій.
1.			
НАУКОВО- ТЕХНОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ	Покращення та оновлення технологій в сфері виробництва	Можливість появи більш нової технології.	Створення підрозділу для покращення нашого виробництва на основі нових технологій
1.			
2.	Покращення технологій в соціальній сфері	Збільшення потреб населення	Покращення умов праці для працівників

Таблиця 5.3. Аналіз зовнішнього маркетингового середовища

ФАКТОРИ	ВПЛИВ		Наші дії
	проблема	можливість	
СПОЖИВАЧІ 1.	Втрата клієнтів із-за здатності домовлятися	Залучення нових потенційних клієнтів	Переглянути та переробити систему цін та впровадити систему знижок
2.	Втрата споживачів через орієнтацію на відомі бренди	Позитивно проявити себе на ринку	Дотримуватися найвищого рівня якості продукції компанії
КОНКУРЕНТИ 1.	Витіснення конкурентами з ринку	Покращення компанії у всіх можливих напрямках	Проаналізувати конкуруючий продукт, конкурентів. Удосконалення компанії за рахунок виявлених помилок конкурента, продукції, Обладнання
2.	Поява на ринку більш інноваційних технологій	Покращення якості та кількості продукту компанії	Покращення цільового обладнання на виробництві на основі нових технологій та розробка нових систем для покращення об'ємів для якості продукту

<p>ПОСТАЧАЛЬНИКИ 1.</p>	<p>Знаходження постачальників через існуючі контракти з конкурентними компаніями</p>		<p>Пошук нових постачальників укріплення зв'язків з ними або укласти більш вигідний договір з постачальниками конкурентів.</p>
<p>КОНТАКТНІ АУДИТОРІЇ 1.</p>	<p>Зменшення продуктивності роботи через поширення негативу серед працівників компанії</p>	<p>Підвищення працелюбності, продуктивності роботи</p>	<p>Організація та проведення різних розважальних заходів для працівників виробництва. Впровадження спеціальних приміщень для відпочинку</p>
<p>2.</p>	<p>Поширення конкурентами хибної інформації</p>	<p>Все можливе розповсюдження бренду компанії</p>	<p>Організувати публічні види заходів, давати інтерв'ю в засобах масової інформації. Розробити рекламну стратегію.</p>

5.3 Загальний аналіз стартап-ідеї

SWOT-аналіз – дозволяє провести детальне вивчення зовнішнього й внутрішнього середовища. Результатом раціонального SWOT-аналізу, спрямованого на формування узагальненого інформаційного потенціалу, є ефективні рішення, що стосуються відповідної реакції (впливу) суб'єкта (слабкої, середньої й сильної) відповідно до сигналу (слабкому, середньому або сильному) зовнішнього середовища.

Таблиця 5.4. SWOT-аналіз

<p style="text-align: center;">СИЛЬНІ СТОРОНИ</p> <ul style="list-style-type: none">● Великий потенціал розвитку● Новий інноваційний підхід● Найвища якість продукту● Можливість виходу на світовий ринок	<p style="text-align: center;">СЛАБКІ СТОРОНИ</p> <ul style="list-style-type: none">● На даний момент відсутність зовнішнього фінансування● Наявність сильних конкурентів● Відсутність партнерського контракту
<p style="text-align: center;">МОЖЛИВОСТІ</p> <ul style="list-style-type: none">● Стати одною з найкращих компаній в сфері● Покращення продуктивності та якості вихідного продукту● Розповсюдження бренду компанії та задання високого рівня конкуренції на ринку● Співпраця з інвесторами та укладення нових договорів з постачальниками	<p style="text-align: center;">ПРОБЛЕМИ</p> <ul style="list-style-type: none">● Вірогідність конфлікту інтересів серед партнерів● Виштовхування з ринку більш впливовими конкурентами● Імпортозаміщення товару● Відсутність фінансування проекту

Таблиця 5.5. Конкурентний аналіз

Особливості конкурентного середовища	Проявлення	Вплив
1. Монополістична конкуренція	Споживачі схильні до вживання популяризованого продукту серед таких самих споживачів, навіть при збільшенні вартості на продукт	Компанії треба відобразити домінуючі або кращі відмінні від конкурента сторони.
2. Національна конкуренція	Імпортні компанії не конкурують з іншими національними компаніями	Збирати дані та підтримувати зв'язок з національними клієнтами, враховувати їх коментарі з приводу покращення якості продукту, іміджу компанії
3. За міжгалузевою ознакою	Використання продукту в інших сферах	Розробляти гнучкі системи які можуть бути використані в інших сферах
4. Товарно-видова конкуренція	Купівля технології або підходу для особистого застосування або застосування для інших цілей.	Рекламування товару, залучення більшої кількості користувачів шляхом ілюстрування роботи товару
5. Цінова конкуренція	Співвідношення ціни/якості	Аналізування ринку і відповідно до результатів встановлення ціни продукту.
6. Марочна інтенсивність	Популяризація товару залежить від популяризації бренду.	Створення сайту та впровадження відповідної реклами на різноманітних інтернет ресурсах. Розклеювання рекламних листівок з брендом компанії

Таблиця 5.6. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Найкраще обслуговування	Відділ підтримки працює 24/7 з можливістю повернення товару або його ремонту.
2	Вартість товару	Незначна ціна виражена низькою собівартістю компонентів.
3	Енергозабезпечення	Забезпечена через незначне енергоспоживання компонентів системи, що не впливає на продуктивність
4	Система отримання подарунків	Полягає в просуванні товару на ринку споживачами за рахунок чого будуть отримувати відповідні нагородження.
5.	Вихід на міжнародний ринок	Через співпрацю з закордонними постачальниками компанія має всі шанси створити додаткові компанії за кордоном.

Таблиця 5.7. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні (АВТабс)						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Найкраще обслуговування	18			КСК		Е.НЕ ХТ		
2	Вартість товару	15				Е.НЕ ХТ			
3	Енергозбереження	16					К СК		
4	Система отримання подарунків	18		Е.НЕ ХТ					
5.	Вихід на міжнародний ринок	7				КСК			Е.НЕ ХТ

Основними нашими перевагами над конкурентами є :

- Новий інноваційний підхід
- Найвища якість продукту

Основними нашими недоліками в порівнянні з конкурентами є :

- Імпортозаміщення товару
- Відсутність фінансування проекту

Таблиця 5.8. Стратегії розвитку компанії

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкуренто-спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Розробка програмних додатків	Вибірковий розподіл	Швидке виконання замовлення, підтримка, незначна ціна за послуги	Стратегія диференціації
<p>Стратегія диференціації передбачає надання товару спираючись на потребах клієнтів у вже існуючому товарі за рахунок реалізації цих потреб у власному товарі таким чином конкуруючи з іншими компаніями.</p>				

Таблиця 5.9. Стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	забирати існуючих	Різниця буде в залежності від потреб клієнтів	Стратегія заняття конкурентної ніші.
<p>Стратегія конкурента полягає в захопленні ще майже незаповнених ніш та адаптація до нового виду технологій в цій ніші, популяризація обраної ніші для залучення ще більшої кількості клієнтів.</p>				

Таблиця 5.10. Стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентні позиції власного стартап проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Актуальний та цікавий продукт	Стратегія диференціації	Зручний сервіс, низька ціна, бонуси	Доступність, надійність, якість.
Головною вимогою до товару являється її співвідношення ціна/якість, задоволення потреб клієнтів, обслуговування товару, під ці критерії підпадає стратегія спеціалізація.				

Таблиця 5.11. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення
1.	Обережний вибір агентів на ринку	Онлайн реклама	Технологія	Впровадження інноваційного методу керування
2.		Публікації в журналах	Технологія	
3.		Організаційні заходи	Технологія	

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В магістерській дисертації ми проаналізували та зібрали данні про процес виготовлення соку та виконали низку наступних завдань.

У розділі 1 було проаналізовано технологію виробництва соку.

У розділі 2 було виконано математичне моделювання об'єкта керування, отримані передавальні функції. Побудовані динамічні та статичні характеристики за каналами – керування та збурення. Розраховані відповідні АЧХ, ФЧХ, АФХ.

У розділі 3 було синтезовано систему керування проточною ємністю для змішування використовуючи алгоритм на базі нечіткої логіки в програмному пакеті Fuzzy Logic Tool. Було виконано порівняння двох систем, а саме, синтезовану та еталонну, якою виступає реальна система з ПІД регулятором. Отримані результати задовільняють технологічний режим.

У розділі 4 було вирішено прикладну задачу, а саме побудовано систему моніторингу та контролю даних технологічного об'єкта, а саме проточної ємності для змішування рідин. Вирішено задачу постійного моніторингу за перебігом технологічного процесу, що дає змогу спеціалісту вчасно втрутитись в процес задля уникнення аварійної ситуації, основні з яких можуть призвести до браку продукту, або ж навіть летальних випадків.

З отриманих результатів очевидно, що система є адекватною і може бути впроваджена на виробництві.

ЛІТЕРАТУРА

1. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
2. Tetra Pak [Електронний ресурс] // Chapter 7 – Режим доступу до ресурсу: <https://orangebook.tetrapak.com/chapter/processing-juice-packer#toc-summary>.
3. Hoffman N. Industrial Process/Fruit Juice [Електронний ресурс] / N. Hoffman, A. Potter – Режим доступу до ресурсу: – <https://encyclopedia.che.engin.umich.edu/fruit-juice/>.
4. Otor J. Juice Production [Електронний ресурс] / Juliet Otor // A Profitable Entrepreneurial Business. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://www.academia.edu/41312448/Juice_Production.
5. Renard C. Thermal Processing of Fruits and Fruit Juices [Електронний ресурс] / C. Renard, J. Maingonnat – Режим доступу до ресурсу: <https://hal.inrae.fr/hal-02803675/document>.
6. Manklaus K. Mathematical Modeling Mixing Tank [Електронний ресурс] / Krsti' Manklaus. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <https://netlibrary.aau.at/obvuklhs/content/titleinfo/2413341/full.pdf>.
7. Hui Y. H. Handbook of Fruits and Fruit Processing [Електронний ресурс] / Hui– Режим доступу до ресурсу: <https://frutvasf.univasf.edu.br/wp-content/uploads/2022/06/fruits.pdf>.
8. Parihar P. Technology of Fruits and Vegetable Processing [Електронний ресурс] / Pratibha Parihar – Режим доступу до ресурсу: <http://www.jnkvv.org/PDF/23042020143158224202205.pdf>.
9. FRUIT JUICE MIXING (BLENDING) SYSTEMS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://fjpm.cluster2.hgsitebuilder.com/fruit-juice-mixing-systems>.
10. Poonia A. Fruit Juice Processing/Chapter 3 [Електронний ресурс] / Amrita Poonia. – 2016 - 2021. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/348309422_FRUITS_JUICE_PROCESSING.
11. Cintula P. Fuzzy Logic [Електронний ресурс] / Petr Cintula – Режим доступу до ресурсу: <https://plato.stanford.edu/entries/logic-fuzzy/>.