

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Автоматизації і комп'ютерних систем
Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління

«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Директор інституту (декан факультету)

Завідувач кафедри

_____ Андрій ФОРСЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

_____ Ярослав СМІТЮХ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» лютого 2024 р.

«__» лютого 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Комп'ютерні технології та програмування в автоматизованих системах управління»

на тему: Комп'ютерно-інтегрована система керування якістю процесу другої сатурації при виробництві цукру з використанням нечіткої логіки

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ІА-2-2М

Грабовий Іван Вікторович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

_____ (підпис)

Керівник Заєць Наталія Анатоліївна

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

_____ (підпис)

Консультанти _____

(ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

_____ (ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

_____ (ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

Рецензент Сергій ГРИБКОВ

(ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____

(підпис)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет Автоматизації і комп'ютерних систем

Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерні технології та програмування в автоматизованих системах управління»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Ярослав СМІТЮХ

« » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Грабового Івана Вікторовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерно-інтегрована система керування якістю процесу другої сатурації при виробництві цукру з використанням нечіткої логіки

керівник роботи д.т.н. проф. Заєць Наталія Анатолівна

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від від “ ” 20__ року № _____

2. Строк подання здобувачем роботи _____

3. Вихідні дані до роботи

Короткі відомості про об'єкт автоматизації, відомості про умови експлуатації об'єкта автоматизації та вимоги до системи автоматизації. Матеріали переддипломної практики.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації та існуючих АСК. 1.1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації. 1.2. Аналіз існуючих АСК технологічним об'єктом. 1.3. Постановка задачі кваліфікаційної роботи магістра. 2. Загальносистемні рішення. 2.1. Загальний опис об'єкту та системи. 2.2. Функціональна структура системи. 2.3. Опис функцій, що автоматизуються. 2.4. Структурна схема комплексу технічних засобів. 2.5. Опис інформаційного забезпечення KICK CAT виробництва та основного відділення. 3. Розробка підсистеми керування технологічним процесом. 3.1. Схема автоматизації та специфікація приладів та засобів автоматизації польового рівня. 3.2. Схема компонування та специфікація модулів ПЛК та засобів RIO і PDS. 3.3. Схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж. 4. Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи керування якістю процесом другої

сатурації при виробництві цукру з використанням нечіткої логіки. 4.1. Побудова комп'ютерно-інтегрованої системи керування якістю процесом другої сатурації (KICKЯ САТ-II). 4.2. Побудова нечіткого регулятора для регулювання температури соку в підігрівачі перед процесом другої сатурації. Висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Схема автоматизації. 2. Структурна схема КТС. 3. Схема мережевих інформаційних потоків. 4. Схема з'єднань проводок промислових мереж.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Видача та затвердження завдання</i>	<i>Перед переддипломною практикою</i>	
2	<i>Розділ 1. Аналіз технології та існуючих АСК технологічним об'єктом</i>	<i>Захист переддипломної практики</i>	
3	<i>Розділ 2. Розробка структурної схеми комплексу технічних засобів</i>	<i>3 тиждень</i>	
4	<i>Розділ 3. Розробка схеми автоматизації та вибір технічних засобів автоматизації</i>	<i>5 тиждень</i>	
5	<i>Розділ 3. Розробка схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж</i>	<i>7 тиждень</i>	
6	<i>Розділ 4. Побудова комп'ютерно-інтегрованої системи керування якістю процесом другої сатурації (KICKЯ САТ-II). Побудова нечіткого регулятора для регулювання температури соку в підігрівачі перед процесом другої сатурації</i>	<i>11 тиждень</i>	

Здобувач _____
(підпис)

Іван ГРИБОВИЙ

Керівник роботи _____
(підпис)

Наталія ЗАЄЦЬ

Анотація

Перший розділ кваліфікаційної роботи магістра присвячений огляду технології очистки соку – дефекосатурації, та аналізу існуючих рішень по автоматизації відділень дефекосатурації.

Другий розділ кваліфікаційної роботи магістра присвячений розробці та опису: схеми функціональної структури системи; структурної схеми комплексу технічних засобів; схеми мережевих інформаційних потоків.

Третій розділ кваліфікаційної роботи магістра присвячений розробці та опису: схеми автоматизації та приводиться специфікація приладів і засобів автоматизації польового рівня; компонування та специфікації модулів ПЛК та засобів RIO; схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж.

Четвертий розділ кваліфікаційної роботи магістра присвячений побудові комп'ютерно-інтегрованої системи керування якістю процесом другої сатурації та побудові нечіткого регулятора для регулювання температури соку в підігрівачі перед другою сатурацією.

Annotation

The first section of the master's qualification work is devoted to the review of juice purification technology – defecosaturation, and the analysis of existing solutions for automation of defecosaturation departments.

The second section of the master's qualification work is devoted to the development and description of: schemes of the functional structure of the system; structural scheme of a complex of technical means; schemes of network information flows.

The third section of the master's qualification work is devoted to the development and description of: automation schemes and the specification of devices and means of field level automation; layout and specifications of PLC modules and RIO facilities; wiring diagrams for industrial networks.

The fourth section of the master's qualification work is devoted to the construction of an intelligent quality management system for the second saturation process and the construction of a fuzzy controller for regulating the temperature of the juice in the heater before the second saturation.

Зміст

Вступ	7
Розділ 1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації та існуючих АСК	8
1.1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації.....	8
1.2. Аналіз існуючих АСК технологічним об'єктом.....	15
1.3. Постановка задачі кваліфікаційної роботи магістра.....	20
Розділ 2. Загальносистемні рішення	21
2.1. Загальний опис об'єкту та системи.....	21
2.2. Функціональна структура системи.....	23
2.3. Опис функцій, що автоматизуються.....	25
2.4. Структурна схема комплексу технічних засобів.....	28
2.5. Опис інформаційного забезпечення КІСК САТ виробництва та основного відділення.....	30
Розділ 3. Розробка підсистеми керування технологічним процесом	37
3.1. Схема автоматизації та специфікація приладів та засобів автоматизації польового рівня.....	37
3.2. Схема компонування та специфікація модулів ПЛК та засобів RIO і PDS.....	41
3.3. Схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж.....	48
Розділ 4. Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи керування якістю процесом другої сатурації при виробництві цукру з використанням нечіткої логіки	52
4.1. Побудова комп'ютерно-інтегрованої системи керування якістю процесом другої сатурації (КІСКЯ САТ-II).....	52
4.2. Побудова нечіткого регулятора для регулювання температури соку в підігрівачі перед процесом другої сатурації.....	72
Висновки	82
Список використаних джерел	83

Вступ

Нецукри, присутні у дифузійному соку, ускладнюють подальший процес отримання цукру під час випарювання та кристалізації соку, що призводить до погіршення якості готового продукту – цукру. Для забезпечення оптимального ходу процесу дефекосатурації та видалення нецукрів з дифузійного соку, а також для отримання цукру високої якості, важлива система автоматизації технологічного процесу. Ця система повинна використовувати передові засоби автоматизації та бути інтегрованою з іншими відділеннями цукрового заводу для ефективної координації робіт.

Головна мета кваліфікаційної роботи магістра полягає в проведенні аналізу існуючих рішень з автоматизації відділень дефекосатурації на цукровому заводі та у розробці інтегрованої автоматизованої системи керування процесом дефекосатурації (АСК САТ). Така система повинна бути інтегрованою з відділенням випарювання цукрового заводу та взаємодіяти з автоматизованою системою управління підприємством цукрового заводу (АСКП).

Додатково, передбачається розробка інтелектуальної системи керування якістю процесу другої сатурації при виробництві цукру, використовуючи нечітку логіку. Також планується розробка нечіткого регулятора для контролю температури соку в підігрівачі перед процесом другої сатурації. Отримані результати регулювання нечітким регулятором порівнюватимуться з перехідним процесом класичного ПІ-регулятора з метою визначення ефективності.

Розділ 1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації та існуючих АСК

1.1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації

Сік, який отримують з бурякової стружки, на додаток до сахарози, містить різні нецукри. Якщо ці нецукри не будуть вилучені, це ускладнить проведення інших технологічних процесів для отримання цукру і може призвести до погіршення якості отриманого цукру. Для вилучення нецукрів з соку застосовується обробка вапняковим молоком, що є важливою частиною технологічного процесу. Цей процес включає попередню дефекацію, основну дефекацію, першу сатурацію, другу сатурацію і сульфитацію. Під час цих технологічних процесів нецукри взаємодіють з вапняковим молоком, вуглекислим газом та діоксидом сірки у вигляді газу. Ця взаємодія призводить до утворення осаду з нецукрів у соку. Осад вилучають під час технологічного процесу фільтрації. Отже, процес вилучення нецукрів з соку включає такі операції:

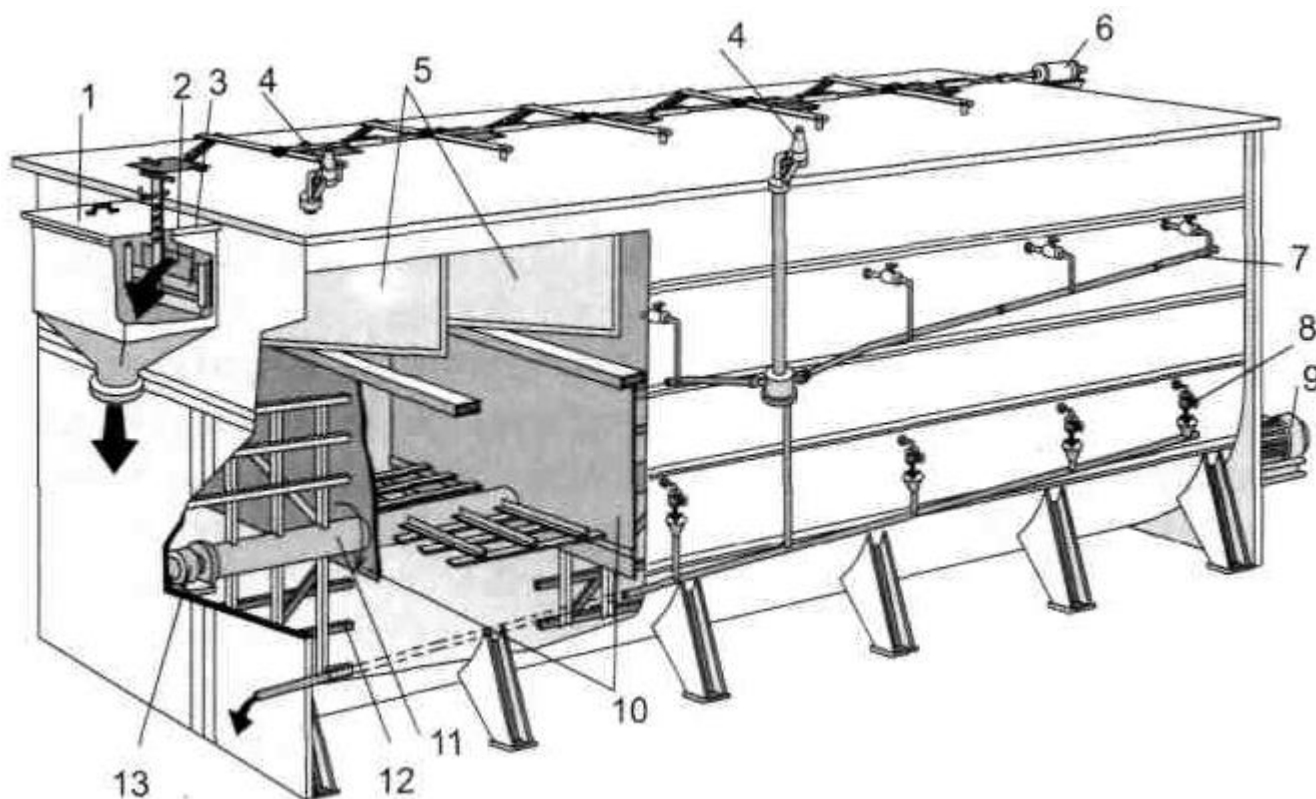
Отже процес вилучення нецукрів з соку складається з таких операцій:

- процес попередньої дефекації;
- процес основної дефекації;
- процес першої сатурації;
- процес другої сатурації;
- процес сульфитації.

Процес попередньої дефекації

Процес попередньої дефекації проводять в апараті попередньої дефекації.

Будова апарату попередньої дефекації вказано на рис. 1.1.



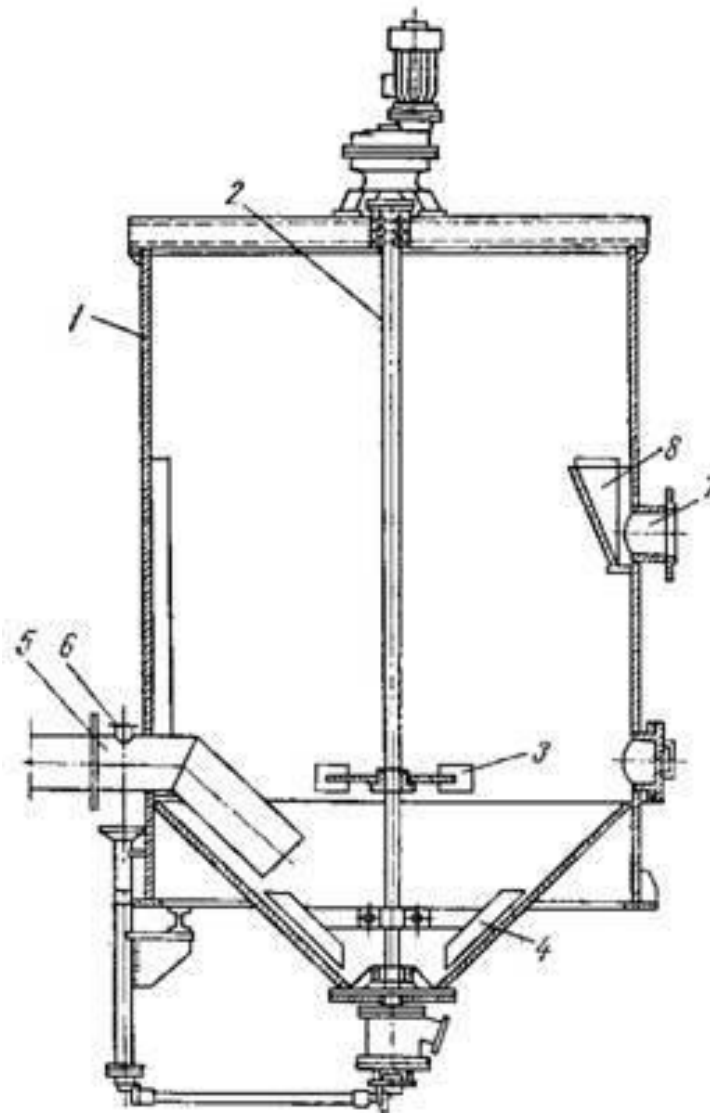
1 – приймач соку; 2 – отвір в корпусі для виходу соку; 3 – регулююча заслінка; 4 – датчик рН; 5 – перегородки поворотні; 6 – пристрій для повороту перегородок; 7 – система труб для відбору проб соку на датчик рН; 8 – відбір соку на аналізи; 9 – електродвигун; 10 – перегородки нерухомі; 11 – вал; 12 – лопаті мішального механізму; 13 – підшипник.

Рис. 1.1. Будова попереднього дефекатора.

Підвищуючи рівень лужності соку на виході з попереднього дефекатора за допомогою вапнякового молока, досягають значення рН на рівні 11 одиниць. Отриманий сік із процесу попередньої дефекації направляється на технологічний етап основної дефекації, який включає в себе холодну та гарячу дефекацію.

Процес основної дефекація Холодна та гаряча дефекація

Процес холодної та гарячої дефекації проводять в дефекаторі, будова якого представлена на рис. 1.2. [9]



1 – вертикальна циліндрична посудина з конічним дном; 2 – вал; 3 – лопаті;
4 – мішалка; 5 – труба; 6,7 – патрубок; 8 – злив.

Рис. 1.2. Будова дефекатора.

Температура для проведення процесів попередньої та холодної дефекації утримується в межах 50-55 °С, в той час як температура для проведення процесу

гарячої дефекації становить 85-90 °С. Попередньо сік нагрівається в підігрівнику перед початком гарячої дефекації.

Процеси попередньої, холодної та гарячої дефекації дозволяють вапняковому молоку взаємодіяти з нецукрами, утворюючи з ними сполуки. Ці сполуки, у свою чергу, випадають в осад під час процесу сатурації.

Основні етапи процесу основної дефекації включають:

– нейтралізація і лужність: Для початку сік піддається нейтралізації, щоб знизити кислотність. Далі до соку додають розчин лужності, зазвичай вапнякове молоко, що призводить до збільшення рівня лужності. Цей етап допомагає утворенню осаду з різноманітних нечистот та сполук.

– кипіння та коагуляція: Сік піддається нагріванню, що викликає кипіння та коагуляцію бруду, який утворює осад. Цей процес сприяє утворенню великих частинок нечистот, які легко можна видалити.

– відокремлення осаду: Осад відокремлюється від чистого соку за допомогою спеціальних фільтрів або центрифуг.

– кристалізація і відфільтрування: Чистий сік після основної дефекації піддається кристалізації, і утворені цукрові кристали відфільтровуються.

Підготовка до наступних етапів чищення та відфільтрований сік готується для подальших етапів виробництва цукру, таких як сатурація і кристалізація.

Процес першої та другої сатурація

Процес першої та другої сатурація проводять в сатураторі, будова якого представлена на рис. 1.3. [9]

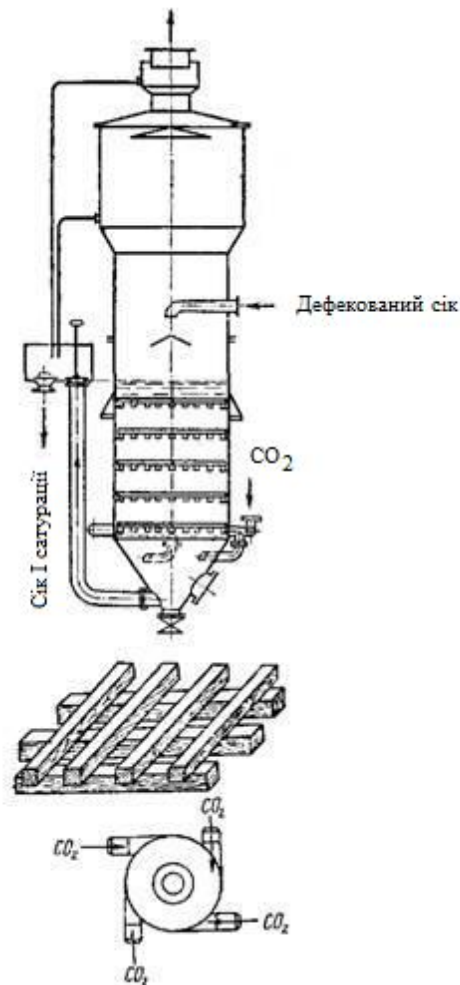


Рис. 1.3. Будова сатуратора.

Температура для проведення процесу першої сатурації становить 85-88 °С, тривалість цього процесу складає 10 хвилин, а якість сатураційного газу коливається в межах 28-32% CO₂. Після проходження процесу першої сатурації сік проходить фільтрацію, і з нього вилучається осад, який містить частину нецукрів.

Для вилучення іншої частини нецукрів проводиться процес другої сатурації. Перед цим етапом повторно проводиться процес гарячої дефекації, де сік підігрівається та змішується з вапняковим молоком.

Температура для проведення процесу другої сатурації становить 88-93 °С, час проходження цього процесу - 5 хвилин, а якість сатураційного газу знову

коливається в межах 28-32% CO₂. Після проходження процесу другої сатурації сік проходить фільтрацію, і з нього вилучається осад, в якому містяться залишкові нецукри. На виході з другого сатуратора лужність соку складає 9 одиниць рН.

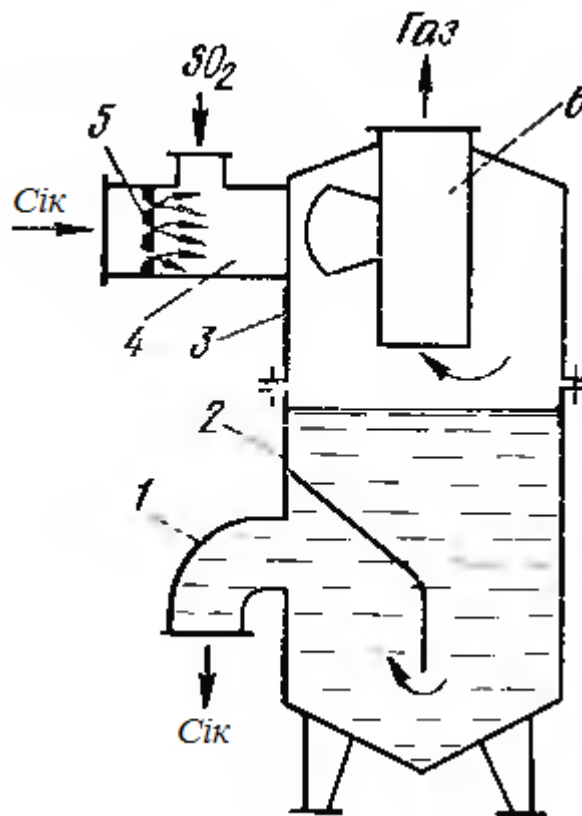
Процес сульфитації

Процес сульфитації в цукровому виробництві включає в себе введення діоксиду сірки (SO₂) в сік для зменшення кольоровості та в'язкості. Основна мета сульфитації полягає в тому, щоб знизити вміст іншаних речовин, таких як органічні сполуки, які можуть призводити до темного кольору соку та погіршення якості цукру.

Основні етапи процесу сульфитації включають:

- Введення SO₂: Газ діоксиду сірки (SO₂) додається до соку, де він реагує з різними нечистотами та органічними сполуками, зменшуючи їх концентрацію та впливаючи на їх кольорові властивості.
- Міксування та Реакція: Сік та SO₂ ретельно перемішуються, щоб забезпечити однорідність реакції. Діоксид сірки взаємодіє з нечистотами, утворюючи сульфитні солі.
- Контроль якості газу SO₂: Якість газу SO₂ має велике значення, оскільки вона визначає ефективність процесу. Забезпечення правильної якості газу важливо для досягнення оптимальних результатів.
- Направлення соку в випарне відділення: Після завершення сульфитації сік направляють у випарне відділення, де відбувається випаровування зайшовшої рідини, щоб підготувати його для наступного етапу кристалізації цукру в вакуум-апаратах.

Процес сульфитації проводять в сульфитаторі, будова якого представлена на рис. 1.4. [10]



1 – трубопровід; 2 – циліндричний корпус; 3 – сепаратор; 4 – горизонтальна труба;
 5 – встановлений диск з отворами; 6 – внутрішній циліндр.

Рис. 1.4. Будова сульфітатора.

Процес сульфітації проводять при використанні газу діоксиду сірки SO_2 з якістю 15%. Після завершення процесу сульфітації сік направляють у випарне відділення для подальшого випаровування рідини та підготовки до процесу кристалізації в вакуум-апаратах. Цей процес допомагає забезпечити високу якість соку та знижує вміст небажаних домішок, сприяючи ефективнішому виробництву високоякісного цукру.

1.2. Аналіз існуючих АСК технологічним об'єктом

Рішення Indusoft-Ukraine та ТОВ ХІМЛАБОРРЕАКТИВ

Рішення від компаній Indusoft-Ukraine та ТОВ ХІМЛАБОРРЕАКТИВ для автоматизації технологічної ділянки сатурації цукрового заводу включає такі елементи (див. рис. 1.5).

Подачу вуглекислого газу CO_2 , що залежить від вмісту CO_2 , визначеного газовим аналізатором HORIBA VA 5001 (див. рис. 1.6) (див. рис. 1.7).

Корекцію впливу рН соку на процеси першої і другої сатурації (див. рис. 1.8). Вимір рН проводиться за допомогою промислових рН-метрів HORIBA HP-480 (див. рис. 1.9) [11].

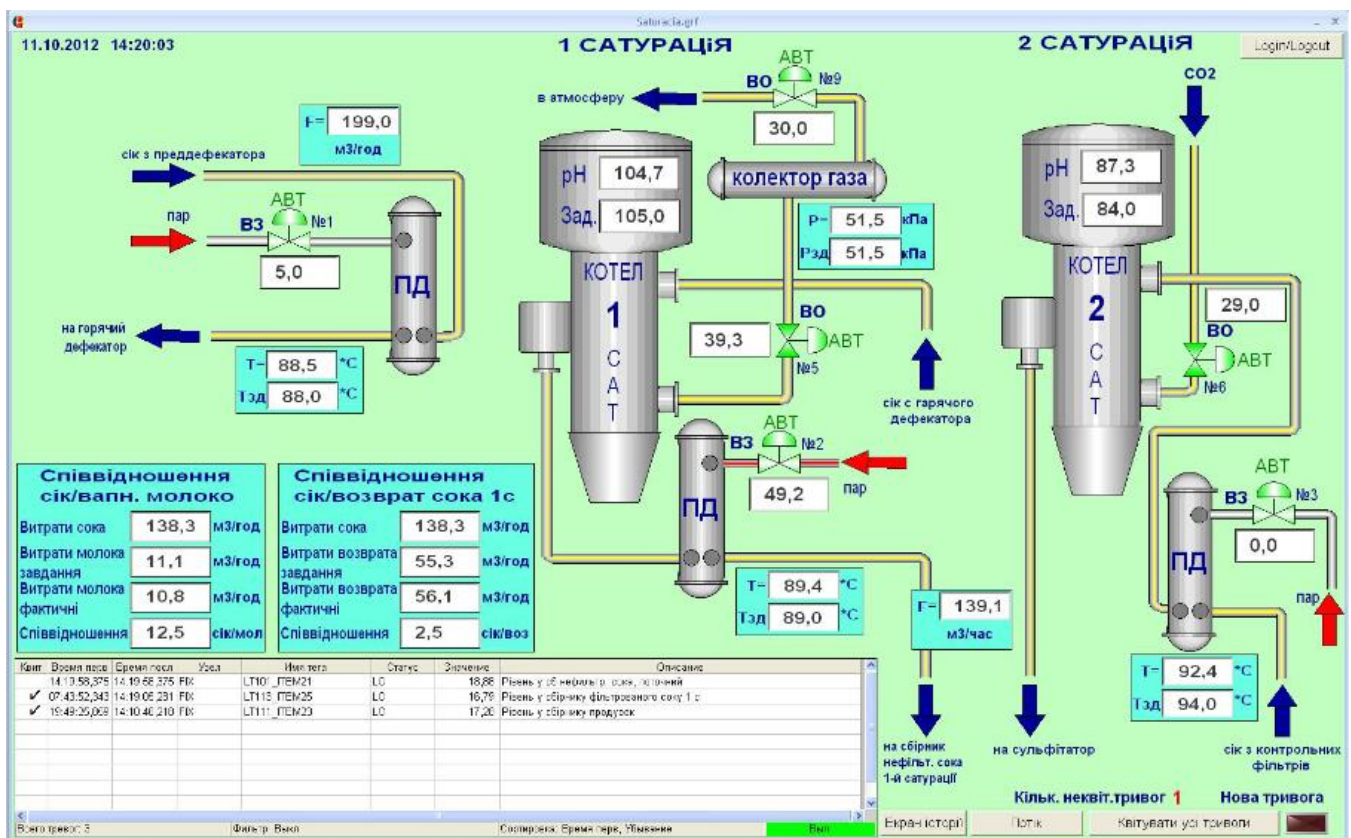


Рис. 1.5. Дисплейна мнемосхема ділянки сатурації.

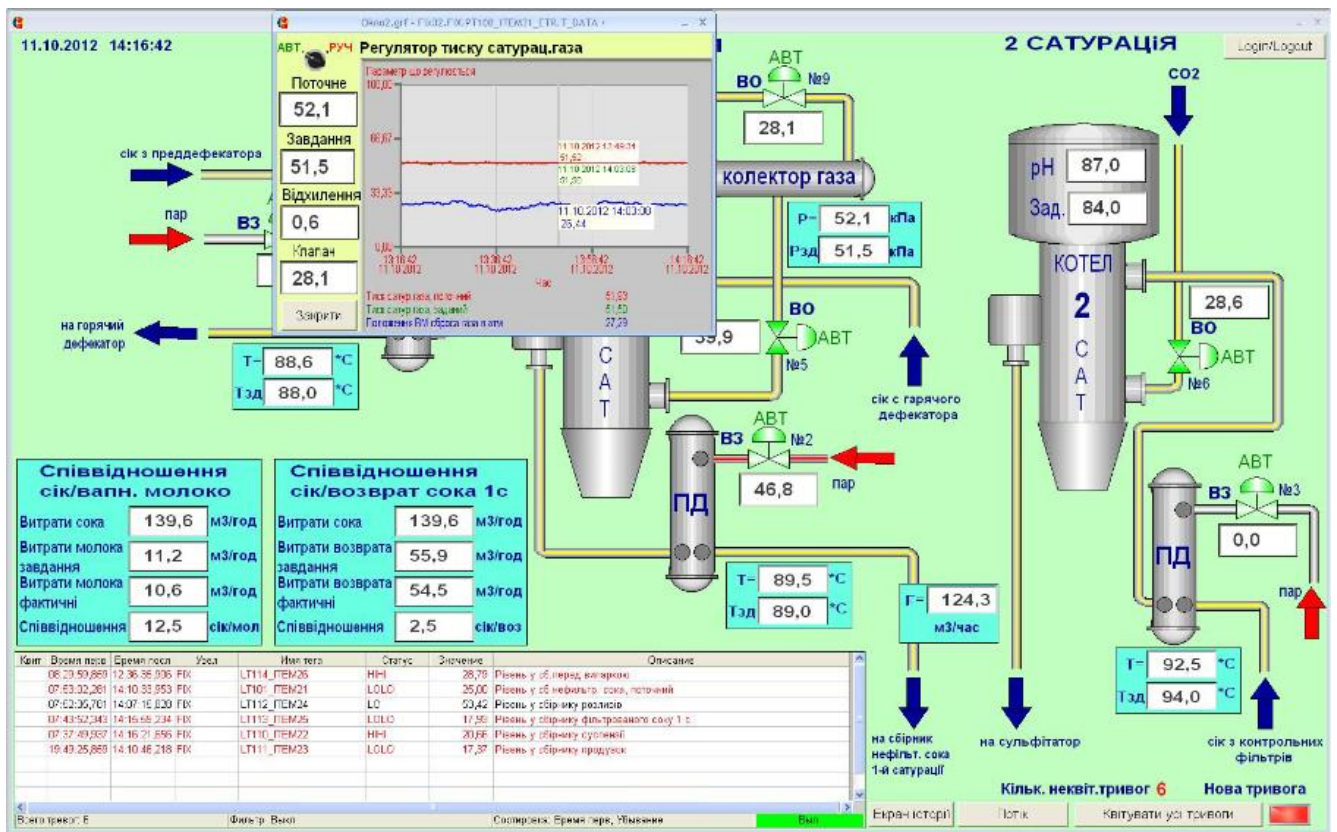


Рис. 1.6. Контроль подачі вуглекислого газу CO₂.



Рис. 1.7. Газовий аналізатор HORIBA VA 5001.

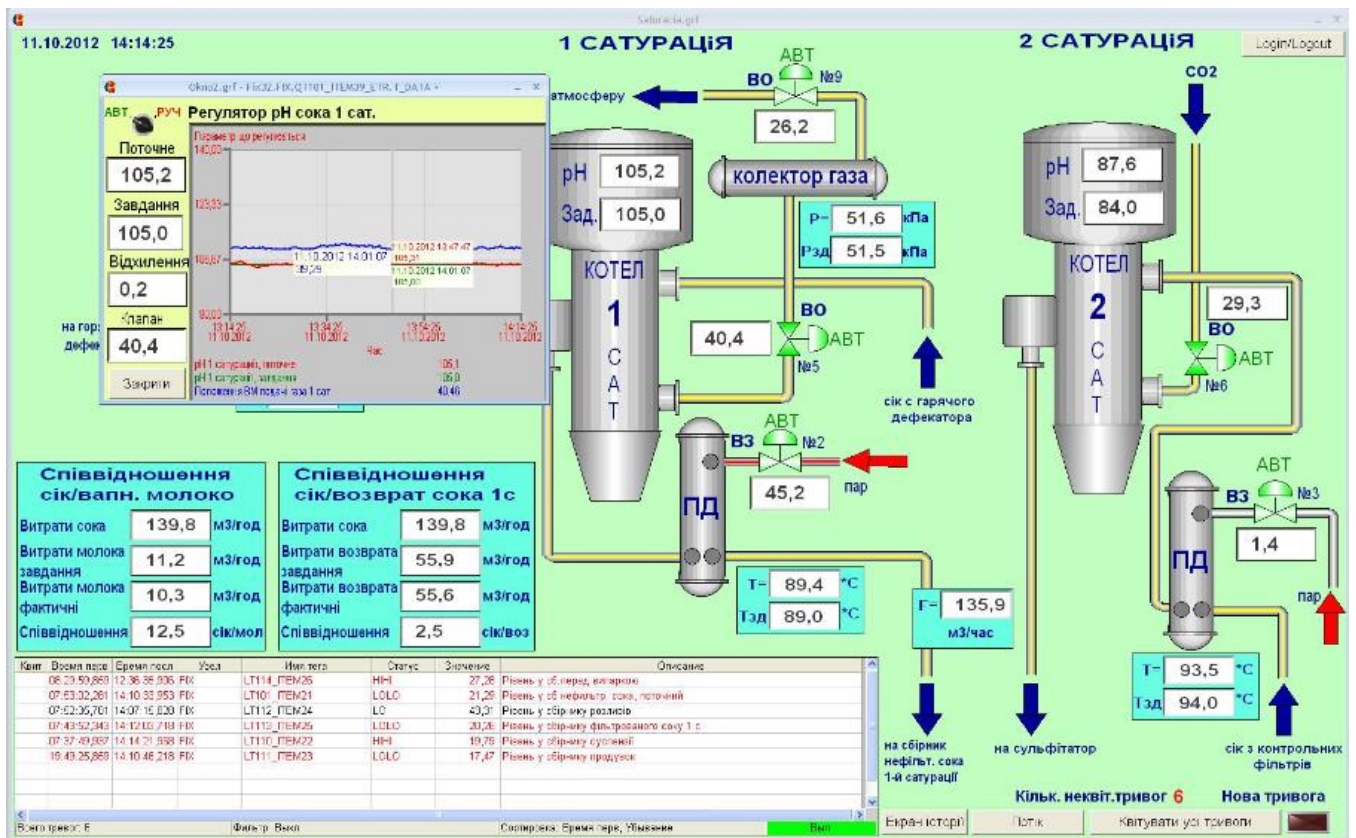


Рис. 1.8. Корекція впливу pH соку першої і другої сатурації.



Рис. 1.9. HORIBA HP-480.

Рішення ТОВ НовоКонцепт

Під час розробки системи автоматизації відділення очистки соку була використана 3-рівнева ієрархічна система керування (див. рис. 1.10):

- на нижньому рівні розташовані датчики і виконавчі механізми.
- на середньому рівні включається контролер, комутаційна апаратура, частотні перетворювачі для двигунів змінного струму та перетворювачі для двигунів постійного струму.
- на верхньому рівні розташовано АРМ оператора.

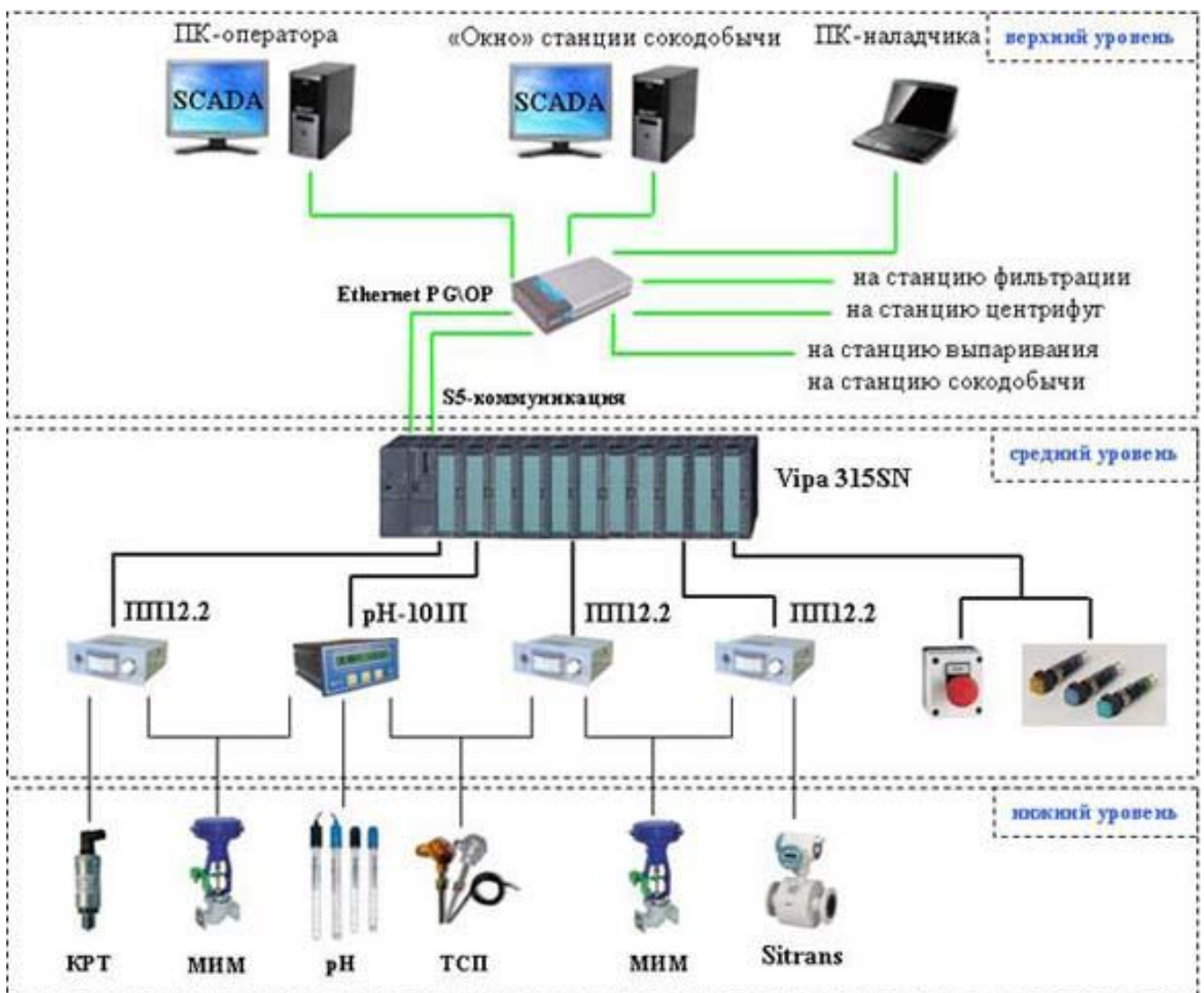


Рис. 1.10. 3-х рівнева ієрархічна система керування.

Для підвищення надійності системи керування процесом очистки соку впроваджено управління за допомогою SCADA-системи (див. рис. 1.11), а також з панелі оператора для кожного каналу регулювання. Під час проектування системи реалізована можливість переключення між автоматичним та ручним режимами роботи і навпаки.

Для автоматичного управління процесом очистки використовується програмований логічний контролер (ПЛК) від компанії VIPA [12].

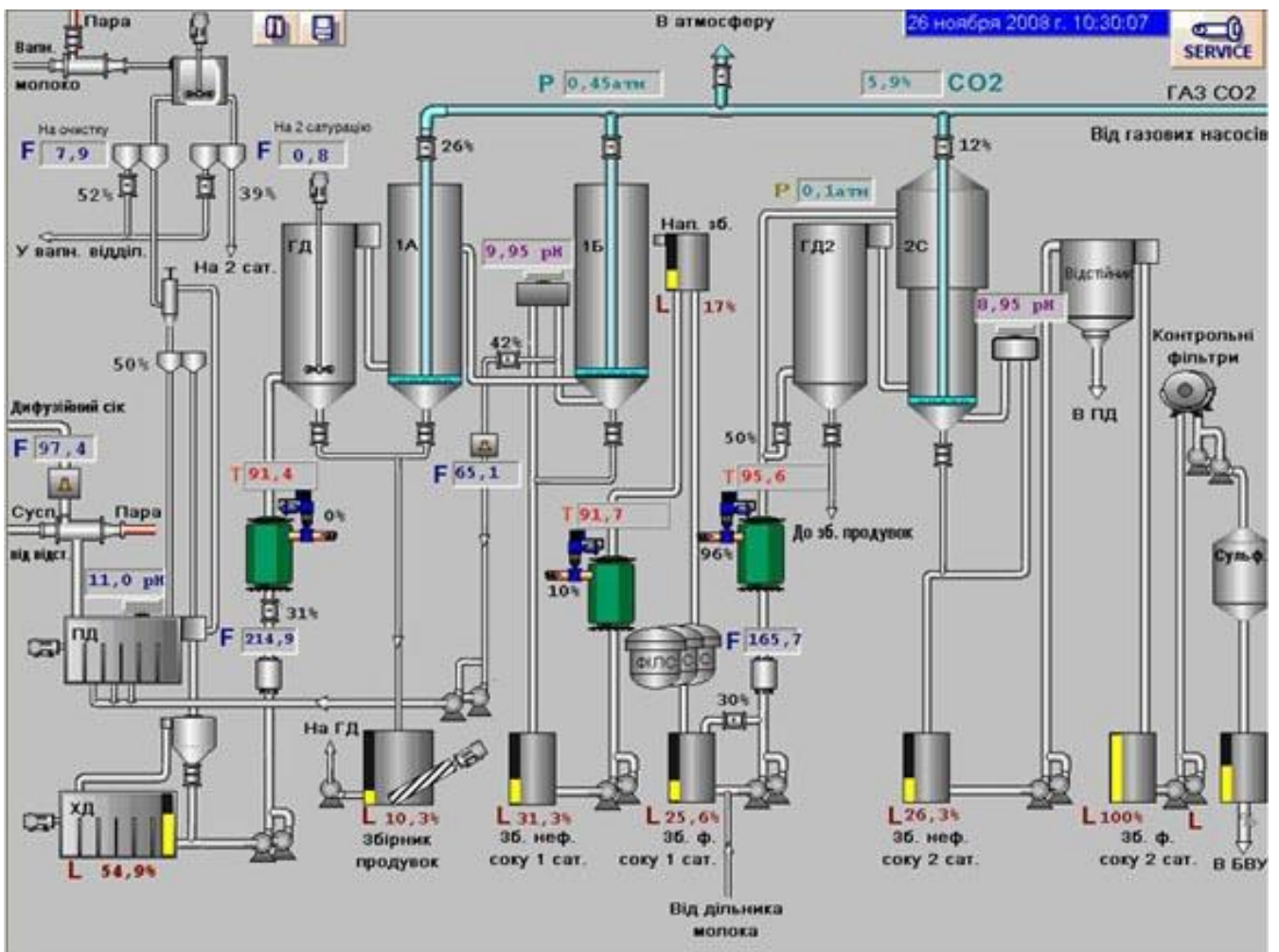


Рис. 1.11. Дисплейна мнемосхема процесу очистки соку.

1.3. Постановка задачі кваліфікаційної роботи магістра

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка комп'ютерно-інтегрованої системи керування процесом дефекосатурації та її координація з випарним відділенням цукрового заводу та верхнім рівнем цукрового заводу, а саме з автоматизованими системами керування підприємством.

У рамках розробки комп'ютерно-інтегрованої системи керування для процесу дефекосатурації, передбачено створення інтелектуальної системи керування якістю процесу другої сатурації за допомогою нечіткої логіки.

Крім того, розглянута задача розробки нечіткого регулятора для управління процесом нагрівання соку в підігрівачі перед другою сатурацією. У роботі також передбачено порівняння отриманих перехідних процесів регулювання з використанням нечіткого регулятора та класичного регулятора.

Розділ 2. Загальносистемні рішення

2.1. Загальний опис об'єкту та системи

У технологічному процесі отримання сульфатованого соку 2-ї сатурації використовується комп'ютерно-інтегрована система керування процесом дефекосатурації (KICK CAT). Ця система спрямована на ефективне управління відділенням дефекосатурації (CAT) та координацію з випарним відділенням (ВИП) на цукровому заводі.

Дифузійний сік з дифузійного відділення попадає в відділення дефекосатурації, де проходить переддефекацію в переддефекаторі. У цьому етапі сік змішується з вапняковим молоком з вапнякового відділення. Після переддефекації відбувається холодна дефекація.

У холодному дефекаторі сік також змішується з вапняковим молоком та проходить підігрів у підігрівачі перед подачею в гарячий дефекатор. Гарячий дефекатор включає в себе процеси змішування соку з вапняковим молоком та направлення соку в 1-й сатуратор.

У 1-му сатураторі сік змішується з вуглекислим газом, що призводить до випадання нецукрів у вигляді осаду. Після цього сік проходить фільтрацію для видалення осаду. Фільтрований сік, після нагрівання в підігрівачі, повертається в гарячий дефекатор для подальшого проходження процесу.

Аналогічно, сік другої сатурації подається в гарячий дефекатор після фільтрації. В 2-му сатураторі відбувається змішування соку з вуглекислим газом, а нецукри випадають у вигляді осаду. Після цього сік направляється на сульфитацію, де взаємодіє з газом діоксиду сірки для зменшення в'язкості.

Процес дефекосатурації сульфатованого соку 2-ї сатурації включає ряд важливих етапів та параметрів, які піддаються регулюванню та контролю для забезпечення оптимальних умов та якості продукту. Серед ключових аспектів, які піддаються регулюванню та контролю під час процесу дефекосатурації, варто виділити:

- Регулювання температури соку після підігрівачів: Забезпечення оптимальної температури соку є важливим для правильного протікання хімічних реакцій та ефективності процесу.
- Регулювання тиску вуглекислого газу в трубопроводі: Контроль тиску газу визначає ефективність сатурації соку вуглекислотою.
- Регулювання тиску вапнякового молока в збірнику: Забезпечення правильного тиску вапнякового молока важливо для його ефективного змішування з соком.
- Регулювання витрати вапнякового молока в змішувачі: Контроль витрати визначає точне дозування вапнякового молока для необхідного хімічного впливу.
- Регулювання витрати вапнякового молока в переддефекатор: Точне дозування вапнякового молока для переддефекації важливо для оптимізації хімічних реакцій.
- Регулювання витрати дифузійного соку в переддефекатор: Контроль витрати дифузійного соку визначає оптимальне співвідношення інгредієнтів у процесі переддефекації.
- Регулювання рівня соку в гарячому дефекаторі 2-ї сатурації: Забезпечення стабільного рівня соку в гарячому дефекаторі для оптимального проходження процесів.
- Регулювання рівня соку в холодному дефекаторі: Забезпечення сталого рівня соку в холодному дефекаторі для ефективності дефекосатурації.
- Контроль густини вапнякового молока: Точне визначення густини молока важливе для правильного змішування та реакцій.
- Контроль рН соку в переддефекаторі: Забезпечення оптимального рівня кислотності для хімічних перетворень у переддефекаторі.
- Регулювання рН соку після 1-го та 2-го сатуратора: Контроль кислотності після сатурації для утворення оптимальних умов для реакцій.
- Регулювання рН соку після сульфітатора: Забезпечення правильного рівня кислотності для фінального етапу дефекосатурації.

2.2. Функціональна структура системи

Схему функціональної структури для комп'ютерно-інтегрованої автоматизованої системи керування процесом дефекосатурації (KICK CAT) наведено на рис. 2.1.

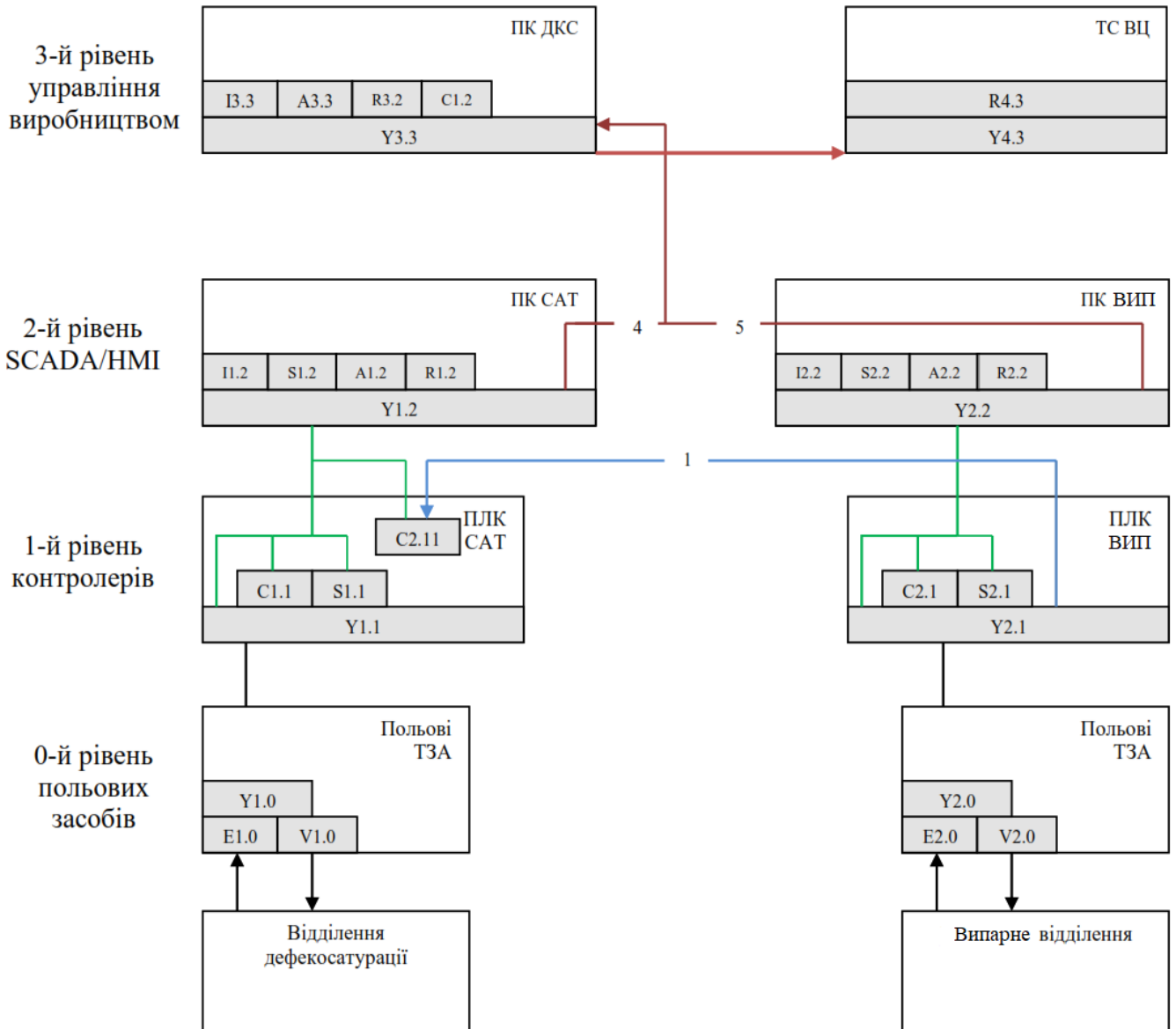


Рис. 2.1. Схема функціональної структури KICK CAT.

В таблиці 2.1 вказано найменування та опис позначень для схеми функціональної структури комп'ютерно-інтегрованої системи керування процесом дефекосатурації (KICK CAT).

Таблиця 2.1. Таблиця позначень використаних в схемі функціональної структури.

Позначення	Найменування
польові ТЗА	технічні засоби автоматизації, які відносяться до польового рівня
ПЛК ВИП	мікропроцесорний контролер для випарного відділення
ПЛК САТ	мікропроцесорний контролер відділення дефекосатурації
ПК ВИП	АРМ оператора випарного відділення
ПК САТ	АРМ оператора дефекосатурації
ПК ДКС	диспетчерсько-координуюча станція – АРМ начальника зміни на базі комп'ютера
ТС ВЦ	технологічний сервер виробництва цукру - сервер архівів основних виробничих параметрів
E1.0, E2.0	вимірювальне перетворення
W1.0, W2.0	управління технологічним обладнанням та виконавчими механізмами
У	перетворення та обробка інформації
C1.1, C2.1	автоматизоване регулювання, управління технологічним процесом
C1.11	координація роботи насосу
C1.2, C2.2	дистанційне управління, формування завдання, настройка регуляторів
S1.1, S2.1	автоматизоване включення, відключення, переключення, блокування, запуск задач
I1.2, I2.2	відображення для контролю за технологічним процесом
I3.3	відображення для диспетчерського контролю за виробничим процесом
R3.2, R2.2, R1.2	реєстрація параметрів технологічного процесу
R4.3	реєстрація основних виробничих параметрів
A1.2, A2.2	контроль стану обладнання, технологічна сигналізація
A3.3	контроль виробничих параметрів, контроль якості виробництва
I1.2, I2.2	відображення для контролю за технологічним процесом
I3.3	відображення для диспетчерського контролю за виробничим процесом

2.3. Опис функцій, що автоматизуються

Функції, які автоматизуються в комп'ютерно-інтегрованій системі керування процесом дефекосатурації (KICK CAT) та наведені в схемі функціональної структури вказані в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Функцій, які автоматизуються.

Найменування функції/ сигналу	Польові ТЗА (Y1.0)		ПЛК (Y1.1)		ПК (Y1.2)				
	E1.0	V1.0	C1.1	S1.1	П.2	C1.2	R1.2	S1.2	A1.2
Т соку перед гарячим дефекатором	+	-	+	-	+	+	+	-	+
Т після I сатуратора	+	-	+	-	+	+	+		+
Т соку перед дефекатором II сатур	+	-	+	-	+	+	+	-	+
Р сатур. газу	+	-	+	-	+	+	+	-	+
Р вапнякового молока	+	-	+	-	+	+	+	-	+
F диф. соку	+	-	+	-	+	+	+	-	+
F вап. молока	+	-	+	-	+	+	+	-	+
F вап. молока на змішувач	+	-	+	-	+	+	+	-	+
F вап. мол. на деф II статурації	+	-	+	-	+	+	+	-	+
L у дефекаторі II сат.	+	-	+	-	+	+	+	-	+
L у холод дефекаат	+	-	+	-	+	+	+	-	+
D вап. молока	+	-	+	-	+	+	+	-	+
Q соку у преддефекаат	+	-	+	-	+	+	+	-	+
Q соку після II сатур	+	-	+	-	+	+	+	-	+
Q соку після I сатур	+	-	+	-	+	+	+	-	+
Q соку після сульфитатора	+	-	+	-	+	+	+	-	+

Продовження таблиці 2.2.

Найменування функції/ сигналу	Польові ТЗА (Y1.0)		ПЛК (Y1.1)		ПК (Y1.2)				
	E1.0	V1.0	C1.1	S1.1	I1.2	C1.2	R1.2	S1.2	A1.2
ВМ подачі пари в підігрівник 1	-	+	+	-	+	+	-	-	-
ВМ подачі пари в підігрівник 2	-	+	+	-	+	+	-	-	-
ВМ подачі пари в підігрівник 3	-	+	+	-	+	+	-	-	-
ВМ випуска сатур газу в атм.	-	+	+	-	+	+	-	-	-
ВМ подачі вап. мол. на зміш	-	+	+	-	+	+	-	-	-
ВМ подачі вап. мол. на преддефект	-	+	+	-	+	+	-	-	-
ВМ подачі вап. мол. деф перед II сатур	-	+	+	-	+	+	-	-	-
ВМ подачі соку на гар. дефекатор	-	+	+	-	+	+	-	-	-
ВМ подачі сатур газу на II сатур	-	+	+	-	+	+	-	-	-
ВМ подачі сатур газу на I сатур	-	+	+	-	+	+	-	-	-
ВМ подачі повітря на сульфитатор	-	+	+	-	+	+	-	-	-
ВМ подачі соку на дефекатор	-	+	+	-	+	+	-	-	-
Команда на пуск двигуна M1	-	-	+	+	+	+	-	-	-
Команда на пуск двигуна M2	-	-	+	+	+	+	-	-	-
Команда на пуск двигуна M3	-	-	+	+	+	+	-	-	-

Продовження таблиці 2.2.

Найменування функції/ сигналу	Польові ТЗА (Y1.0)		ПЛК (Y1.1)		ПК (Y1.2)				
	E1.0	V1.0	C1.1	S1.1	I1.2	C1.2	R1.2	S1.2	A1.2
Команда на пуск двигуна M4	-	-	+	+	+	+	-	-	-
Команда на пуск двигуна M5	-	-	+	+	+	+	-	-	-
Дистанційна команда на пуск двигуна M1	-	-	-	-	+	-	-	+	-
Дистанційна команда на пуск двигуна M2	-	-	-	-	+	-	-	+	-
Дистанційна команда на пуск двигуна M3	-	-	-	-	+	-	-	+	-
Дистанційна команда на пуск двигуна M4	-	-	-	-	+	-	-	+	-
Дистанційна команда на пуск двигуна M5	-	-	-	-	+	-	-	+	-
РУЧ/АВТ	-	-	-	-	+	+	-	+	-
Kp	-	-	-	-	+	+	-	-	-
Ti	-	-	-	-	+	+	-	-	-

2.4. Структурна схема комплексу технічних засобів

Розроблену структурну схему комплексу технічних засобів для комп'ютерно-інтегрованої системи керування процесом дефекосатурації (KICK CAT) наведено на рис. 2.2.

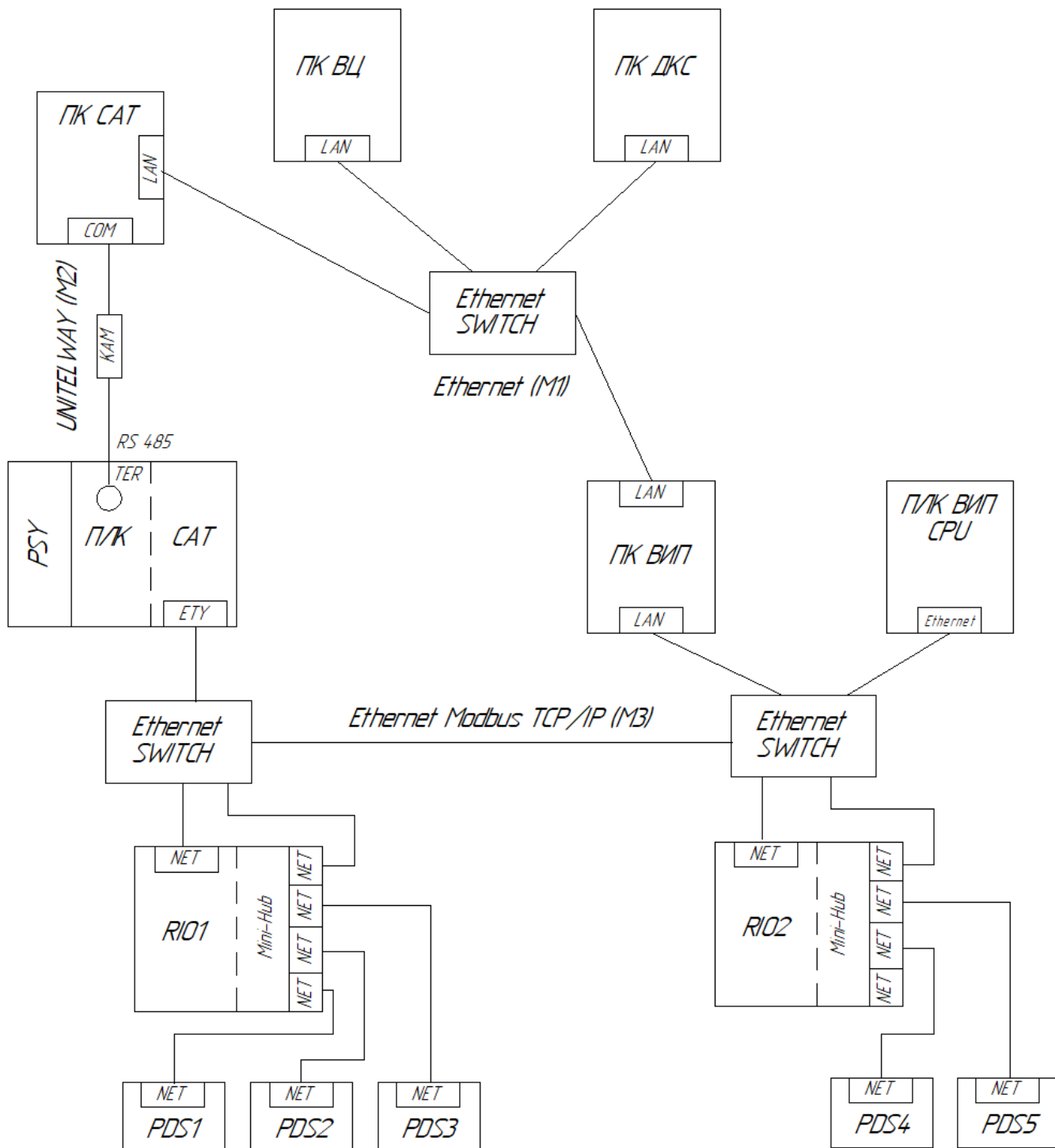


Рис. 2.2. Структурна схема КТЗ KICK CAT.

Специфікація мережних технічних засобів (МТЗ), які використані при розробці структурної схеми комплексу технічних засобів комп'ютерно-інтегрованої системи керування процесом дефекосатурації (KICK CAT) вказано в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Специфікація МТЗ.

Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
1	2	3	4
ПК ДКС	ПК начальника зміни	1	Офісного виконання
ПК САТ	АРМ оператора відділення дефекосатурації	1	Celeron 3,2 GHz, RAM 512Mb
ПЛК САТ	Програмований логічний контролер відділення дефекосатурації	1	TSX Premium CPU TSX P57 204M
ПК ВИП	АРМ оператора відділення випарної станції	1	Celeron 3,2 GHz, RAM 512Mb
ПЛК ВИП	Програмований логічний контролер відділення випарної станції	1	Modicon M340 CPU TSX P34 2020
PDS1-PDS5	Частотний перетворювач	5	Mitsubishi Electric S500
RIO1, RIO2	Модуль віддаленого вводу-виводу	2	VIPA IM253 NET
КАМ	Комунікаційний адаптер перетворювач RS-232<->RS-485	1	TSX PCX 1031 (Schneider Electric)

2.5. Опис інформаційного забезпечення KICK CAT виробництва та основного відділення

Комп'ютерно-інтегрована система керування процесом дефекосатурації (KICK CAT) побудована з трьох мереж.

Мережа М1 створена на основі технології Ethernet для з'єднання між собою ПК САТ, ПК ВИП, ПК ДКС та ТС ВЦ. На рис. 2.3 вказано схему мережних інформаційних потоків (МІП) мережі М1.

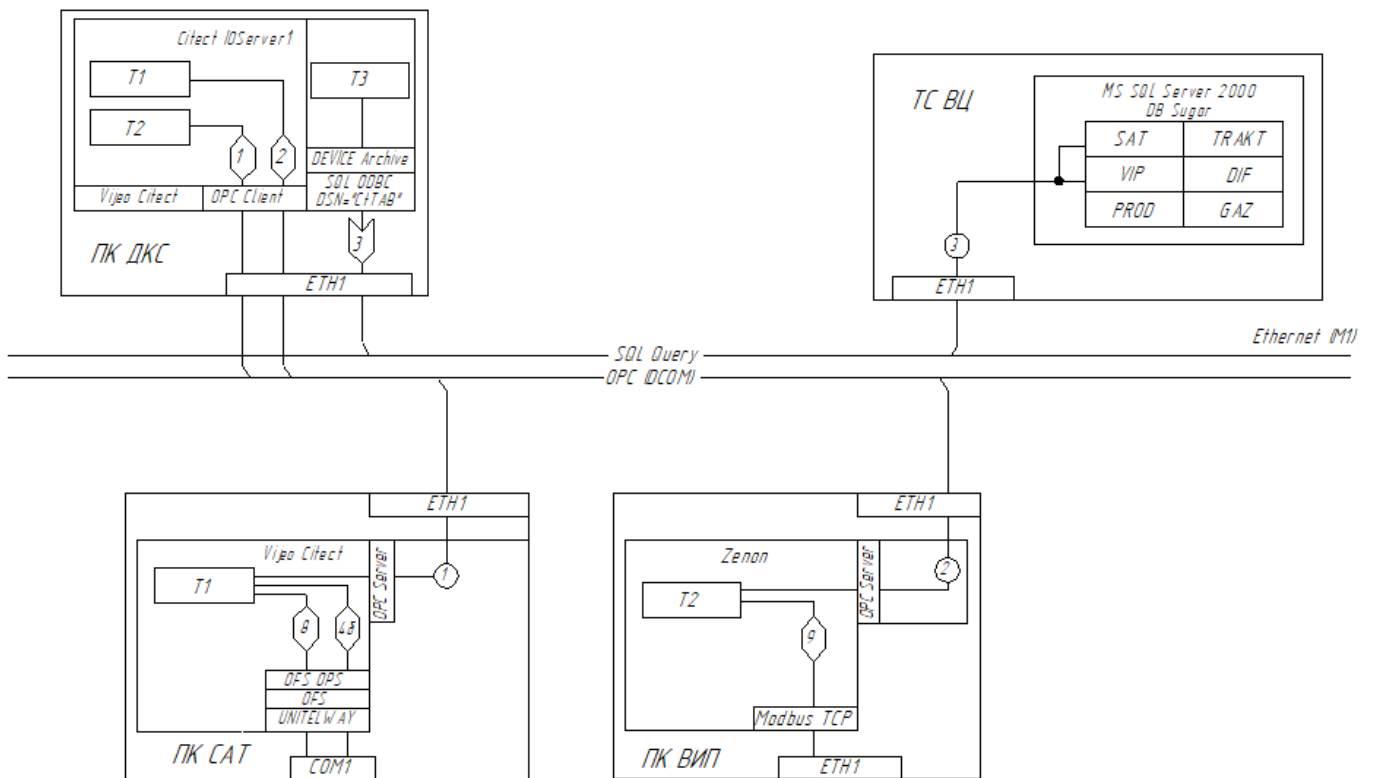


Рис. 2.3. Схема МІП мережі М1.

Мережа M2 створена на основі технології UNITELWAY для з'єднання між собою ПК CAT та ПЛК CAT. На рис. 2.4 вказано схему мережних інформаційних потоків (МІП) мережі M2.

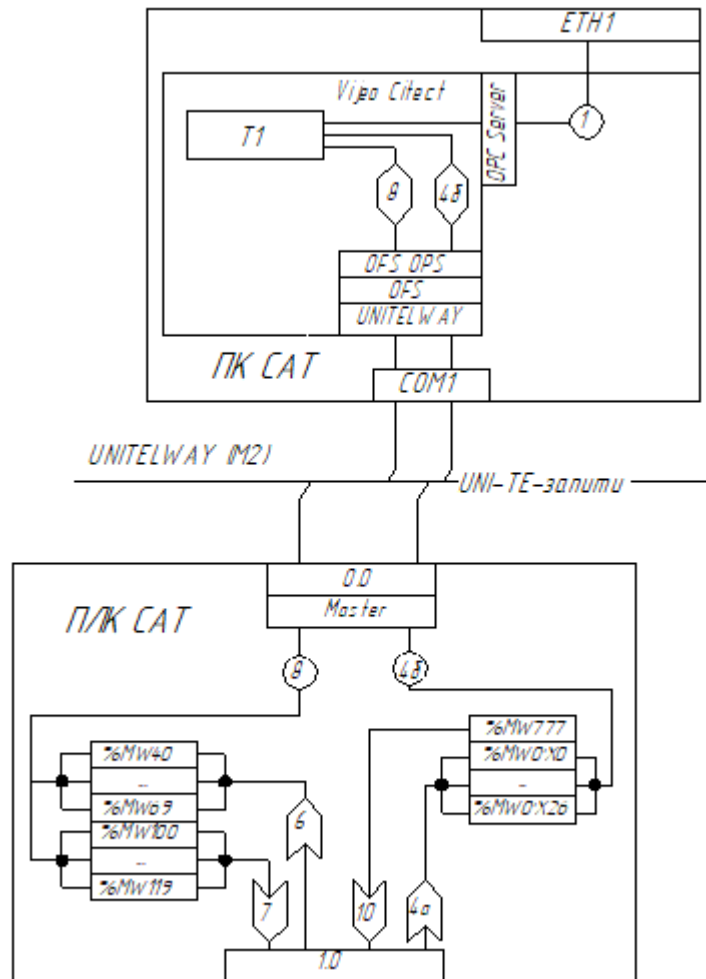


Рис. 2.4. Схема МІП мережі M2.

Мережа МЗ створена на основі технології Ethernet Modbus TCP/IP для з'єднання між собою ПЛК САТ, ПЛК САТ, ЧПР САТ і РІО, а також ПЛК ВІП і ПЛК ВІП для координації між собою відділення дефекосатурації та випарного відділення. На рис. 2.5 вказано схему мережних інформаційних потоків (МІП) мережі МЗ.

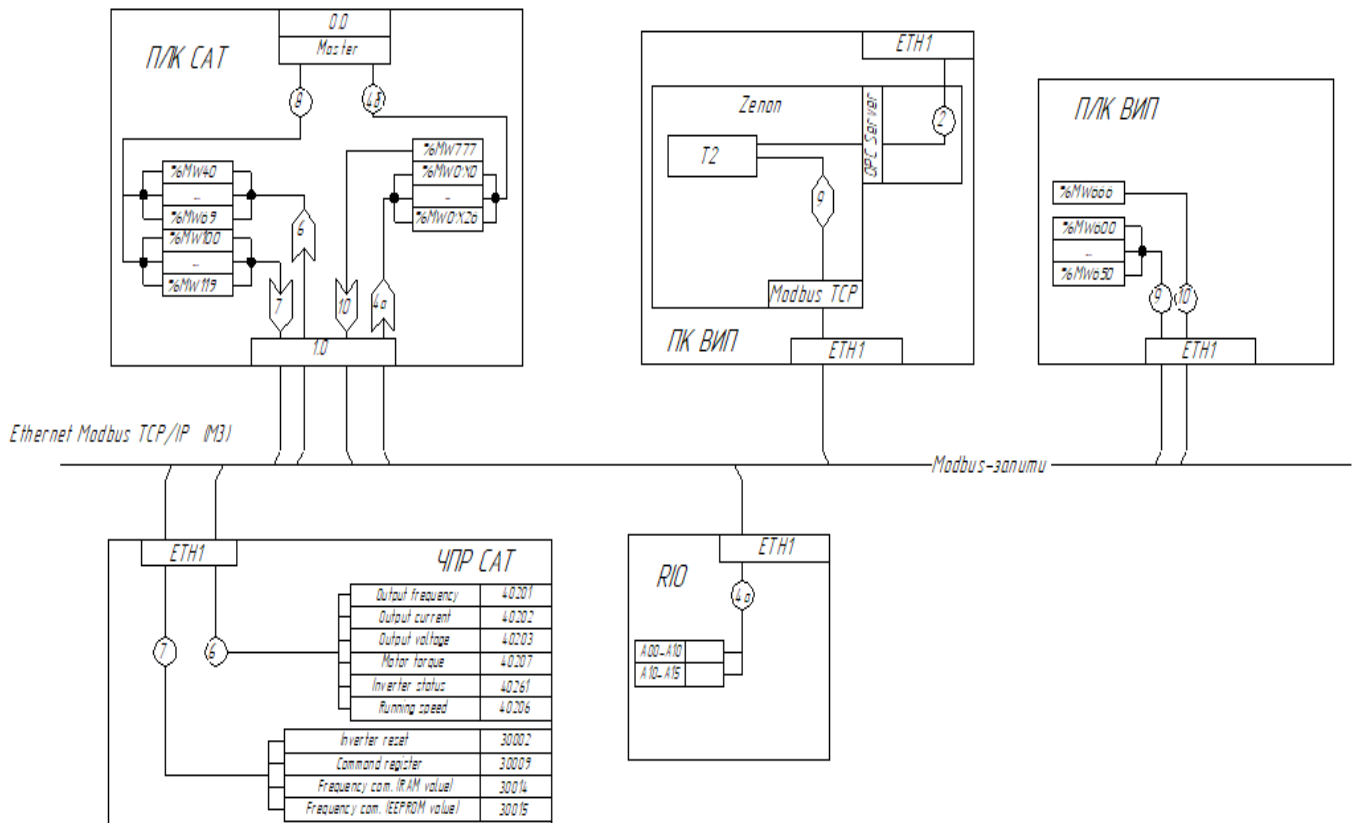


Рис. 2.5. Схема МІП мережі МЗ.

Опис змінних, якими обмінюються між собою ПК САТ, ПЛК САТ, ЧПР САТ і RIO в мережі МЗ реалізована вказано в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4. Опис змінних в мережі МЗ.

Призначення	ПК САТ		ПЛК САТ	ЧПР САТ	RIO1
Т соку перед гарячим дефекатором	Tsok_gar_pred	T2, T4	%MW1		%MW111
Т після I сатуратора	Tsok_1satyr	T2, T4	%MW2		%MW112
Т соку перед дефекатором II сатур	Tsok_2satyr	T2, T4	%MW3		%MW113
P сатур. газу	Psatyr_gaz	T2, T4	%MW4		%MW114
P вапнякового молока	Pvap_moloka	T2, T4	%MW5		%MW115
F диф. соку	Fduf_soky	T2, T4	%MW6		%MW116
F вап. молока	Fvap_moloka	T2, T4	%MW7		%MW117
F вап. молока на змішувач	Fvap_mol_zmish	T2, T4	%MW8		%MW118
F вап. мол. на деф II сатурації	Fvap_mol_2satyr	T2, T4	%MW9		%MW119
L у дефекаторі II сат.	L_def_2satyr	T2, T4	%MW10		%MW120
L у холод дефекаат	L_hol_def	T2, T4	%MW11		%MW121
D вап. молока	Dvap_mol	T2, T4	%MW12		%MW122
Q соку у преддефекаат	Qsok_pred	T2, T4	%MW13		%MW123
Q соку після II сатур	Qsok_2satyr	T2, T4	%MW14		%MW124
Q соку після I сатур	Qsok_1satyr	T2, T4	%MW15		%MW125
Q соку після сульфитатора	Qsok_sylf	T2, T4	%MW16		%MW126

Призначення	ПК САТ	ПЛК САТ	ЧПП САТ	RIO1	
ВМ подачі пари в підігрівник 1	Kl_paru_1	T2, T4	%MW17		%MW127
ВМ подачі пари в підігрівник 2	Kl_paru_2	T2, T4	%MW18		%MW128
ВМ подачі пари в підігрівник 3	Kl_paru_3	T2, T4	%MW19		%MW129
ВМ випуска сатур газу в атм.	Klvup_gazy	T2, T4	%MW20		%MW130
ВМ подачі вап. мол. на зміш	Klpod_vap_mol_zmish	T2, T4	%MW21		%MW131
ВМ подачі вап. мол. на преддефекат	Klpod_vap_mol_pred	T2, T4	%MW22		%MW132
ВМ подачі вап. мол. деф перед II сатур	Klpod_vap_mol_def_2satyr	T2, T4	%MW23		%MW133
ВМ подачі соку на гар. дефекатор	KLpod_sok_gar_def	T2, T4	%MW24		%MW134
ВМ подачі сатур газу на II сатур	KLpod_gaz_2satyr	T2, T4	%MW25		%MW135
ВМ подачі сатур газу на I сатур	Klpod_gaz_1satyr	T2, T4	%MW26		%MW136
ВМ подачі повітря на сульфітатор	Klpod_povitra	T2, T4	%MW27		%MW137
ВМ подачі соку на дефекатор	KLpod_sok_defek	T2, T4	%MW28		%MW138
Рівень у збірнику ВС	Lzbir_vup_stan		%MW777		

Продовження таблиці 2.4.

Призначення	ПЛК CAT	ПЛК CAT	ЧПР CAT	RIO1	
MTS вихідна частота	Mts_FreqOut	T2, T6	%MW40	Output frequency	
MTS вихідна частота двигуна	Mts_FreqOut	T2, T6	%MW41	Motor torque	
MTS швидкість обертання	Mts_MotSpeed	T2, T6	%MW42	Running speed	
MTS струм у двигуні	Mts_MotCur	T2, T6	%MW43	Output current	
MTS напруга живлення	Mts_LineVolt	T2, T6	%MW44	Output voltage	
MTS код помилки	Mts_LastFault	T2, T7	%MW47	EEPROM value	
MTS DRIVECOM статус	Mts_EtaStatus	T2, T6	%MW48	Command reg./status	
MTS DRIVECOM команда		T2, T7	%MW100	Command reg./status	
MTS задана частота		T2, T7	%MW101	Frequency com.	
MTS вимкнення двигуна	Mts_reset	T2, T7	%MW102	Inventer reset	

Опис задіяного програмного забезпечення для інтегрованої автоматизованої системи керування процесом дефекосатурації (KICK CAT) вказано в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5. Опис програмного забезпечення.

Тип програмного засобу	Виробник	Назва	Примітки
<i>SCADA для ПК CAT</i>	<i>Schneider Electric</i>	<i>SCADA Citect</i>	
<i>ПЗ для ПЛК CAT</i>	<i>Schneider Electric</i>	<i>Unity Pro</i>	
<i>ПЗ для ПК ДКС</i>	<i>GE Intelligent Platforms</i>	<i>Proficy Real Time Information Portal</i>	
<i>ПЗ для ТС ВЦ</i>	<i>Microsoft</i>	<i>MS SQL Server</i>	

Розділ 3. Розробка підсистеми керування технологічним процесом

3.1. Схема автоматизації та специфікація приладів та засобів автоматизації польового рівня

Схема автоматизації комп'ютерно-інтегрованої системи керування процесом дефекосатурації (KICK CAT) забезпечує контроль таких параметрів, як густина вапнякового молока та рН соку в переддефекаторі, а також регулювання температури соку після підігрівачів, тиску вуглекислого газу в трубопроводі, тиску вапнякового молока в збірнику, витрати вапнякового молока в змішувачі, витрати вапнякового молока в переддефекатор, витрати дифузійного соку в переддефекатор, рівня соку в гарячому дефекаторі 2-ї сатурації, рівня соку в холодному дефекаторі, рН соку після 1-го та 2-го сатуратора, і рН соку після сульфитатора.

Температура соку після підігрівачів вимірюється датчиками температури (поз. 1а-3а) і регулюється пневматичними клапанами (поз. 1в-3в) для подачі пари.

Тиск вуглекислого газу в трубопроводі вимірюється датчиком тиску (поз. 4а) і регулюється пневматичним клапаном (поз. 4в).

Тиск вапнякового молока в збірнику вимірюється датчиком тиску (поз. 5а) і регулюється частотним перетворювачем (поз. PDS1), який керує подачею вапнякового молока.

Витрата дифузійного соку в переддефекатор вимірюється витратоміром (поз. 6а) і регулюється частотним перетворювачем (поз. PDS2).

Витрата вапнякового молока в переддефекатор вимірюється витратоміром (поз. 7а) і регулюється пневматичним клапаном (поз. 7в) для подачі вапнякового молока.

Витрата вапнякового молока в змішувачі вимірюється витратомірами (поз. 8а-9а) і регулюється пневматичними клапанами (поз. 8в-9в) для подачі вапнякового молока.

Рівень соку в гарячому дефекаторі перед 2-м сатуратором вимірюється рівнеміром (поз. 7а) і регулюється частотним перетворювачем (поз. PDS3).

Рівень соку в холодному дефекаторі вимірюється рівнеміром (поз. 11а) і регулюється пневматичним клапаном (поз. 11в) для подачі соку.

Густина вапнякового молока вимірюється густиноміром (поз. 12а).

рН соку в переддефекаторі вимірюється аналізатором (поз. 13а).

рН соку після 1-го та 2-го сатуратора вимірюється аналізаторами (поз. 14а-15а) і регулюється пневматичними клапанами (поз. 14в-15в) для подачі вуглекислого газу.

рН соку після сульфітатора вимірюється аналізатором (поз. 16а) і регулюється пневматичним клапаном (поз. 16в) для подачі вуглекислого діоксиду сірки.

Частотні перетворювачі (поз. PDS4-PDS5) регулюють швидкість потоку соку під час процесу сульфітації, а їх робота координується з випарним відділенням.

Специфікацію технічних засобів автоматизації комп'ютерно-інтегрованої системи керування процесом дефекосатурації (KICK CAT) вказано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Специфікація технічних засобів автоматизації.

Поз.	Найменування та технічна характеристика засобу	Тип, марка, позначення документу, листа опитування	Код обладнання, виробу, матеріалу	Завод-виробник/виробник	Одиниця виміру	К-сть	Маса одиниці, кг	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1а, 2а, 3а	Термоперетворювач опору платиновий Pt100, погрузний 250 мм, 3-проводна схема підключення, робочий діапазон -50...250 °С. Вихідний сигнал: 4-20мА.	ТСП 1-5-Pt100-В-3-250-6-40-2000-ПР-/-50...250 каталог виробів Тера	-	АТЗТ «Тера»	шт.	3	-	90-120 °С
4а, 5а	Вимірювальний перетворювач тиску. Діапазон: 0,1...100 МПа. Уніфікований вихідний сигнал: 4-20 мА, 0-10В.	РС-28 Каталог «APLISENS»	-	APLISENS	МПа	2	-	0,03-0,4 МПа
10а, 11а	Перетворювач рівня буйковий електричний. Вихідний сигнал: 4-20мА. Діапазон вимірювання: до 16 м. Температура контрольованої рідини: -50...+ 200 °С.	УБ-ЭМ-1-Ех Каталог «РИЗУР»	-	«РИЗУР»	м	2	-	0-5 м
6а, 7а, 8а, 9а, 10а	Магнітно-індуктивний витратомір. Діапазон вимірювання: 0,4-2500 м ³ /год. Температура середовища: -20...+150°С. Вихід: 4-20 мА.	DMH EP DN50 Каталог «KOBOLD»	-	KOBOLD	м ³ /год	5	-	20-300 м ³ /год
12а	Густиномір з нержавіючої сталі, діапазон вимірювання: 0 - 3000 кг/м ³ , вихідний сигнал 4-20мА	Solartron 7828 Каталог «Measurement»	-	Mobrey Measurement	кг/м ³	1	-	65-75 %
11а	Аналізатор рідини рівня рН Діапазон виміру: 0-14 рН. Вихідний уніфікований сигнал 4-20мА.	HP-480 технічний опис виробу	-	HORIBA	шт.	1	-	9-11 од. рН,

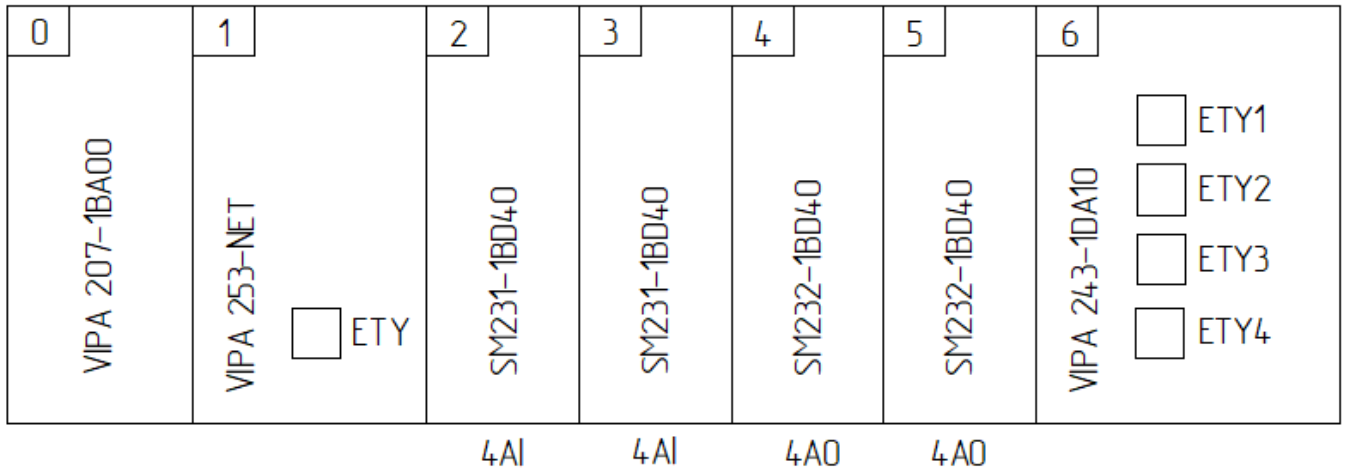
Продовження таблиці 3.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1б, 2б, 3б, 4б, 7б, 8б, 9б, 11б, 14б, 15б, 16б	Електропневматичний перетворювач. Вхідний сигнал: 0(4)-20, 0-5 мА. Вихідний: 20-100 кПа. Основна похибка 0,5%.	ЭП-3211 Каталог “Теплоприбор-С”	-	«Теплоприбор-С»	шт.	11	-	
1в, 2в, 3в, 4в, 7в, 8в, 9в, 11в, 14в, 15в, 16в	Клапан сідельний регулюючий з пневмоприводом, вхідний сигнал: 20-100 кПа. З'єднання 2-1/2”.	Ni-Flow Каталог виробів СВ АЛЬТЕРА	-	СВ АЛЬТЕРА	шт.	11	-	
PDS1, PDS2, PDS3	Частотний перетворювач FC301, вхідний сигнал 0(4)-20 мА, відносна вологість 5-95% , температура навколишнього середовища - 10...+50°С.	FC301 P5K5 Каталог Danfoss	175U184 6	Danfoss	шт.	3	-	Регулююча робота двигунів
SB1, SB2, SB3, SB4, SB5	Кнопка. Типорозмір 22мм. 2-клавішна зелена/червона.	8LP2T B7113 Каталог виробів СВ АЛЬТЕРА	-	СВ АЛЬТЕРА	шт.	5	-	

3.2. Схема компонування та специфікація модулів ПЛК та засобів RIO і PDS

Компонування RIO1 та RIO2 VIPA IM253 NET, що задіяні в комп'ютерно-інтегровані системі керування процесом дефекосатурації (KICK CAT) вказано на рис. 3.1 та опис модулів наведено в таблиці 3.2.

RIO1



RIO2

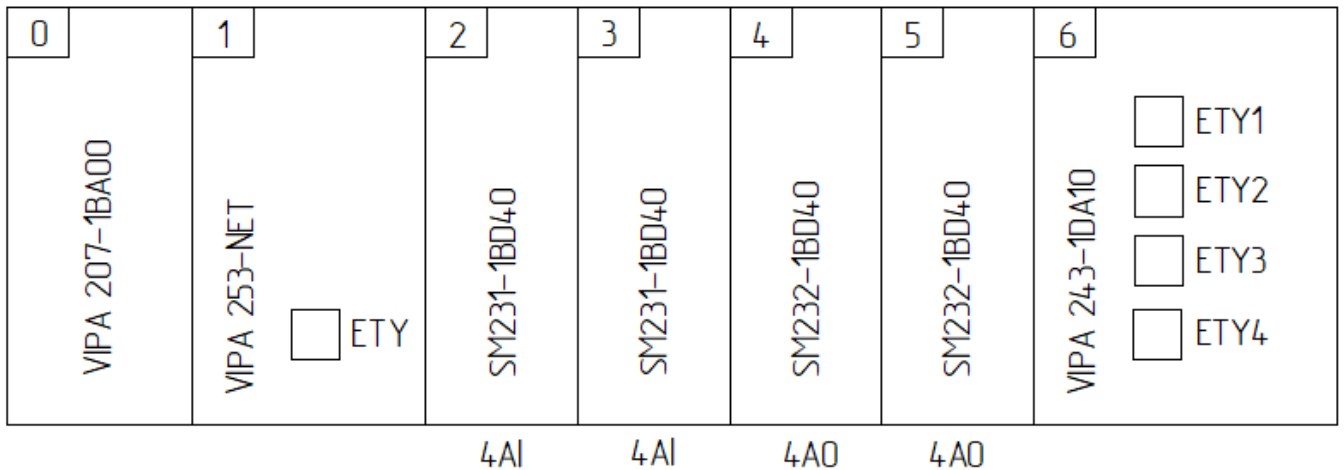


Рис. 3.1. Конфігурація RIO1 VIPA IM253 NET.

Таблиця 3.2. Модулі RIO1 та RIO2 VIPA IM253 NET.

Модулі вводу/виводу		Примітка
Найменування	Кількість	
VIPA 207-1BA00	2	Модуль живлення PS-207 2A
VIPA 253-1NE00	2	Інтерфейсний модуль Ethernet slave IM-253NET
VIPA 231-1BD40	4	Сигнальний модуль 4 AI
VIPA 232-1BD40	4	Сигнальний модуль 4 AO
VIPA 240-1DA10	2	Mini Switch-HUD 4 port CM 240

Схема компонування ПЛК CAT TSX Premium, що задіяний в комп'ютерно-інтегрованій системі керування процесом дефекосатурації (KICK CAT) вказано на рис. 3.2, та опис модулів наведено в таблиці 3.3.

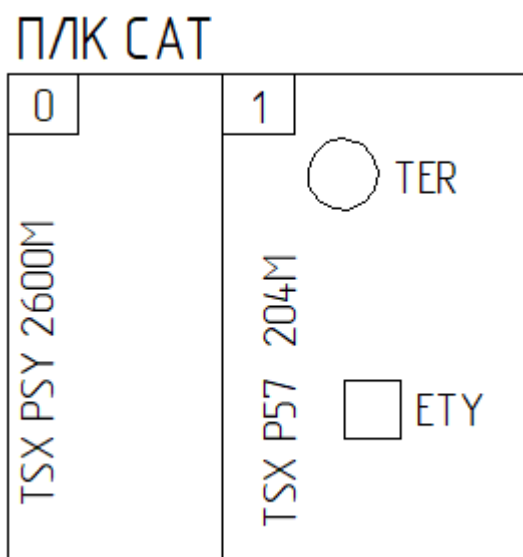


Рис. 3.2. Схема компонування ПЛК CAT TSX Premium.

Таблиця 3.3. Модулі ПЛК CAT TSX Premium.

Модулі вводу/виводу		Примітка
Найменування	Кількість	
TSX P57 204M	1	Процесор
TSX PSY 2600M	1	Блок живлення

Специфікація модулів ПЛК CAT TSX Premium та засобів RIO1 та RIO2, що задіяні в комп'ютерно-інтегрованій системі керування процесом дефекосатурації (KICK CAT) вказано в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4. Специфікація модулів ПЛК, засобів RIO.

Поз.	Найменування та технічна характеристика засобу	Тип, марка, позначення документу, листа опитування	Код обладнання	Завод-виготовлювач/виробник	Одиниця виміру	К-сть	Маса одиниці, кг	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	ПРОГРАМОВАНІЙ ЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЕР ПЛК CAT – Modicon TSX Premium							
PS	1. Модуль живлення TSX PSY 2600M	Каталог Modicon TSX Premium		Schneider Electric, Франція	шт	1		
01	2. Процесорний модуль TSX P57 204M	Каталог Modicon TSX Premium		Schneider Electric, Франція	шт	1		
	СИСТЕМА РОЗПОДІЛЕНОГО ВВОДУ ВИВОДУ RIO1 та RIO2 - VIPA 200V							
0	Модуль живлення PS-207 2A	VIPA 207-1BA00 Catalog VIPA System-200V		VIPA, Німеччина	шт	2		
1	Інтерфейсний модуль Ethernet slave IM-253NET	VIPA 253-1NE00 Catalog VIPA System-200V		VIPA, Німеччина	шт	2		
2,3	Сигнальний модуль 4 AI SM231-1BD40	VIPA 231-1BD40 Catalog VIPA System-200V		VIPA, Німеччина	шт	4		
4,5	Сигнальний модуль 4 AO SM232-1BD40	VIPA 232-1BD40 Catalog VIPA System-200V		VIPA, Німеччина	шт	4		
6	Mini Switch-HUD 4 port CM 240	VIPA 240-1DA10 Catalog VIPA System-200V		VIPA, Німеччина	шт	2		
	35 мм DIN-рейка	VIPA 290-1AF30 Catalog VIPA System-200V		VIPA, Німеччина	шт	2		

Перелік вхідних та вихідних аналогових сигналів для RIO1, RIO2 та ПЛК САТ для комп'ютерно-інтегровані системи керування процесом дефекосатурації (KICK CAT) наведено в таблицях 3.5-3.11.

Таблиця 3.5. Перелік вхідних аналогових сигналів для RIO1.

Поз. вим.	Найменування вимірювальної величини	Одиниці та діапазон виміру	Тип та діапазону вимір. сигналу	Періодичність, с	Точність виміру, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7
1a	Температура соку перед гарячим дефекатором	0-120 °C	4-20 мА	0.1	0.5	датчик 1a
2б	Температура соку після першого сатуратора	0-120 °C	4-20 мА	0.1	0.5	датчик 2a
3a	Температура соку перед дефекатором другої сатурації	0-120 °C	4-20 мА	0.1	0.5	датчик 3a
4a	Тиск сатураційного газу	0-100 бар	4-20 мА	0.1	0.5	датчик 4a
5a	Тиск вапнякового молока у збірнику	0-100 бар	4-20 мА	0.1	0.5	датчик 5a
6a	Витрата дифузійного соку на преддефекатор	0-2500 м3/год	4-20 мА	0.1	0.5	датчик 6a
7a	Витрата вапнякового молока на преддефекатор	0-2500 м3/год	4-20 мА	0.1	0.5	датчик 7a
8a	Витрата вапнякового молока на змішувач	0-2500 м3/год	4-20 мА	0.1	0.5	датчик 8a

Таблиця 3.6. Перелік аналогових вихідних сигналів для RIO1.

Поз.	Найменування вихідної величини	Одиниці та діапазон виходу	Тип та діапазон вихідного сигналу	Періодичність, с	Точність формування, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7
1в	Подача пари в підігрівник 1	0-100 %XPO	20-100 кПа	0.1	0.5	ВМ клапан пари
2в	Подача пари в підігрівник 2	0-100 %XPO	20-100 кПа	0.1	0.5	ВМ клапан пари
3в	Подача пари в підігрівник 3	0-100 %XPO	20-100 кПа	0.1	0.5	ВМ клапан пари
4в	Випуск сатураційного газу в атмосферу	0-100 %XPO	20-100 кПа	0.1	0.5	ВМ клапан подачі газу
7в	Подача вапнякового молока на змішувач	0-100 %XPO	20-100 кПа	0.1	1	ВМ клапан подачі молока
8в	Подача вапнякового молока на преддефекатор	0-100 %XPO	20-100 кПа	0.1	0.5	ВМ клапан подачі молока

Таблиця 3.7. Перелік вхідних аналогових сигналів для RIO2.

Поз. вим.	Найменування вимірювальної величини	Одиниці та діапазон виміру	Тип та діапазон вимір сигналу	Періодичність, с	Точність виміру, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7
9а	Витрата вапнякового молока дефекатор другої сатурації	0-2500 м ³ /год	4-20 мА	0.1	0.5	датчик 9а
10а	Рівень у дефекаторі другої сатурації	0-5 м	4-20 мА	0.1	0.5	датчик 10а
11а	Рівень у холодному дефекаторі	0-5 м	4-20 мА	0.1	0.5	датчик 11а
12а	Щільність вапнякового молока	0-3 г/см ³	4-20 мА	0.1	0.5	датчик 12а
13а	Концентрація соку у преддефекаторі	0-14 рН	4-20 мА	0.1	0.5	датчик 13а
14а	Концентрація соку після другої сатурації	0-14 рН	4-20 мА	0.1	0.5	датчик 14а
15а	Концентрація соку після першої сатурації	0-14 рН	4-20 мА	0.1	0.5	датчик 15а
16а	Концентрація соку сульфитатора	0-14 рН	4-20 мА	0.1	0.5	датчик 16а

Таблиця 3.8. Перелік аналогових вихідних сигналів для RIO2.

Поз.	Найменування вихідної величини	Одиниці та діапазон виходу	Тип та діапазон вихідного сигналу	Періодичність, с	Точність формування, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7
9в	Подача вапнякового молока на дефекатор перед II сатурацією	0-100 %ХРО	20-100 кПа	0.1	0.5	ВМ клапан подачі молока
11в	Подача соку на гарячий дефекатор	0-100 %ХРО	20-100 кПа	0.1	1	ВМ клапан пари
14в	Подача сатураційного газу на другий сатуратор	0-100 %ХРО	20-100 кПа	0.1	1	ВМ клапан пари
15в	Подача сатураційного газу на перший сатуратор	0-100 %ХРО	20-100 кПа	0.1	1	ВМ клапан пари
16в	Подача повітря на сульфитатор	0-100 %ХРО	20-100 кПа	0.1	1	ВМ клапан пари

Таблиця 3.9. Перелік мережевих вхідних сигналів від PDS до ПЛК CAT.

Поз.	Найменування вихідної величини	Одиниці та діапазон виходу	Тип та діапазон вихідного сигналу	Періодичність, с	Точність формування, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7
PDS1,	Статус вкл. /викл	-	12 біт	0.1	0.5	
PDS2,	Вихідна частота	0-800 Гц	12 біт	0.1	0.5	
PDS3,	Швидкість обертання	0-6000 об/хв	12 біт	0.1	0.5	± 15 об/хв
PDS4,	Струм	0-100 000 А	12 біт	0.1	0.5	
PDS5	Напруга живлення	-480 В	12 біт	0.1	0.5	+1, -3 В

Таблиця 3.10. Перелік мережевих вихідних сигналів від ПЛК CAT до PDS.

Поз.	Найменування вихідної величини	Одиниці та діапазон виходу	Тип та діапазон вихідного сигналу	Періодичність, с	Точність формування, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7
PDS1,	Команда вкл./викл	-	12 біт	0.1	0.5	
PDS2,	Задана частота	0-800 Гц	12 біт	0.1	0.5	
PDS3,						
PDS4,						
PDS5						

3.3. Схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж

Під час розробки схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж М1, М2 та М3 (рис. 3.3-3.5 комп'ютерно-інтегровані системи керування процесом дефекосатурації (KICK CAT) використані комунікаційні адаптери та мережні кабелі, їх специфікація наведена в таблиці 3.11.

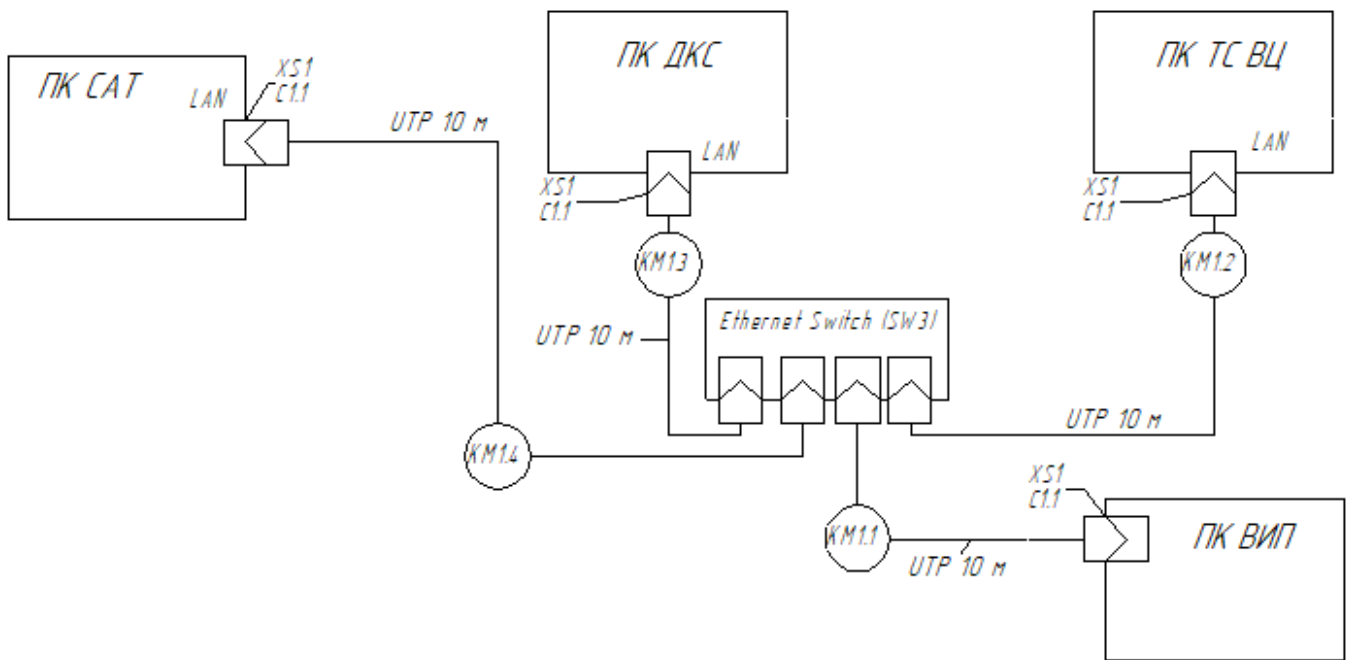


Рис. 3.3. Схема з'єднань та підключень проводок для промислової мережі М1.

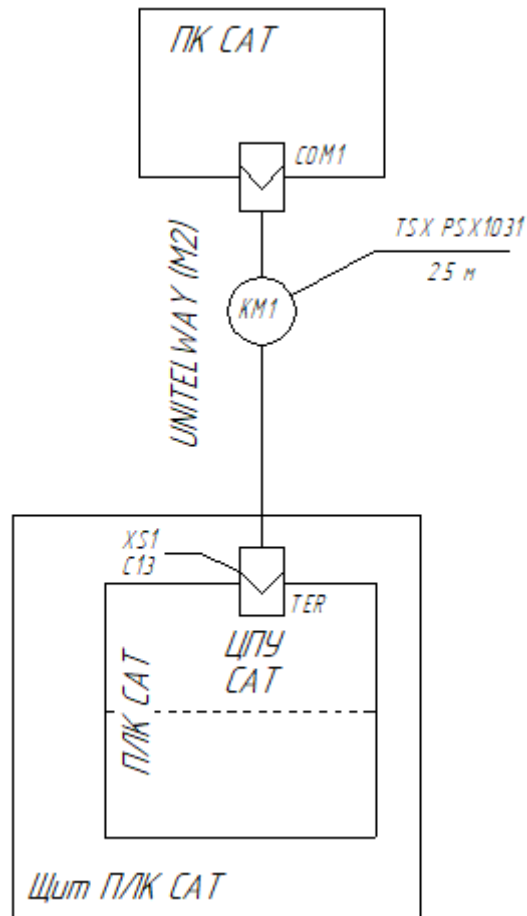


Рис. 3.4. Схема з'єднань та підключень проводок для промислової мережі M2.

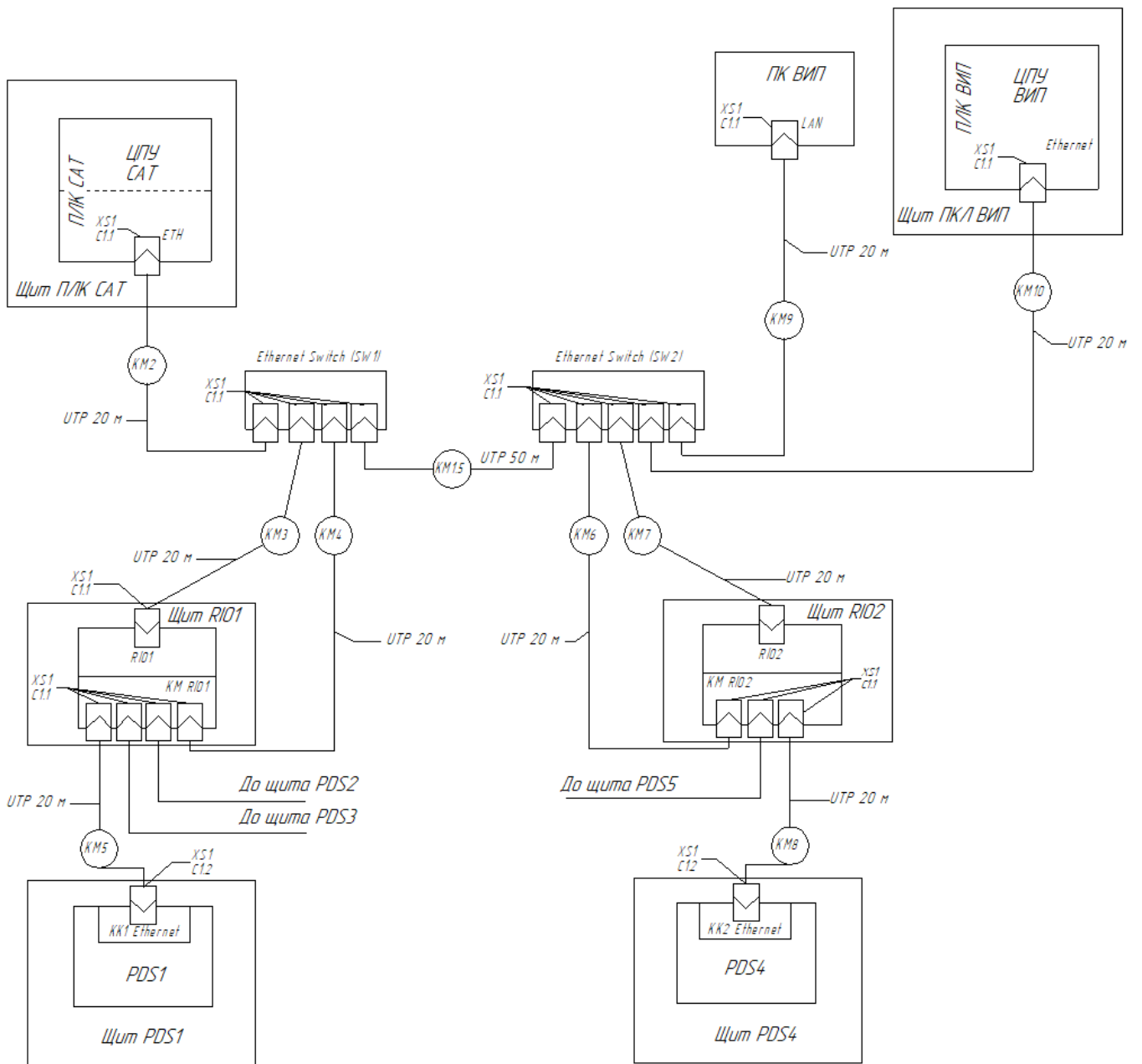


Рис. 3.5. Схема з'єднань та підключень проводок для промислової мережі М3.

Таблиця 3.11. Специфікація з'єднувальних елементів до схеми з'єднань.

Позначення	Найменування	К-сть	Примітка
	<i>Комунікаційні адаптери та карти</i>		
KK1, KK2 Ethernet	FR-A7N-ETH комунікаційна карта для підключення Ethernet Modbus/TCP	1	шт.
KM RIO1, RIO2	VIPA 253 –NET Ethernet slave	2	шт.
SW1, SW2	Промисловий керований комутатор JetNet 4508	2	шт.
SW3	Некерований комутатор Fast Ethernet D-Link DES-1008D/PRO з вбудованим захистом портів	1	шт.
	<i>Мережні з'єднувачі</i>		
XS1	Неекранований RJ-45 типу вилка	33	шт.
	<i>Мережні кабелі</i>		
KM1	TSX PCX1031 – кабель з адаптером RS232-RS485, SUB-D 9 пін з боку RS232, MiniDIN з боку RS485	2.5	м
KM2, KM3, KM4, KM5, KM6, KM8, KM9, KM10, KM11, KM12, KM13, KM14, KM15	Кабель вита пара (UTP), 2 пари, категорія 5, solid, PE	330	м

Розділ 4. Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи керування якістю процесом другої сатурації при виробництві цукру з використанням нечіткої логіки

4.1. Побудова комп'ютерно-інтегрованої системи керування якістю процесом другої сатурації (КІСКЯ САТ-II)

Для оцінки якості та керування процесом другої сатурації на цукровому заводі розроблена комп'ютерно-інтегрована система керування якістю процесу другої сатурації (КІСКЯ САТ-II). Ця комп'ютерно-інтегрована система, заснована на нечіткій логіці та використовуючи алгоритм Мамдані (рис. 4.1), дозволяє визначати якість рН соку другої сатурації на виході другого сатуратора за такими технологічними параметрами:

- температура соку після підігрівача;
- витрата соку на другу сатурацію;
- тиск сатураційного газу.

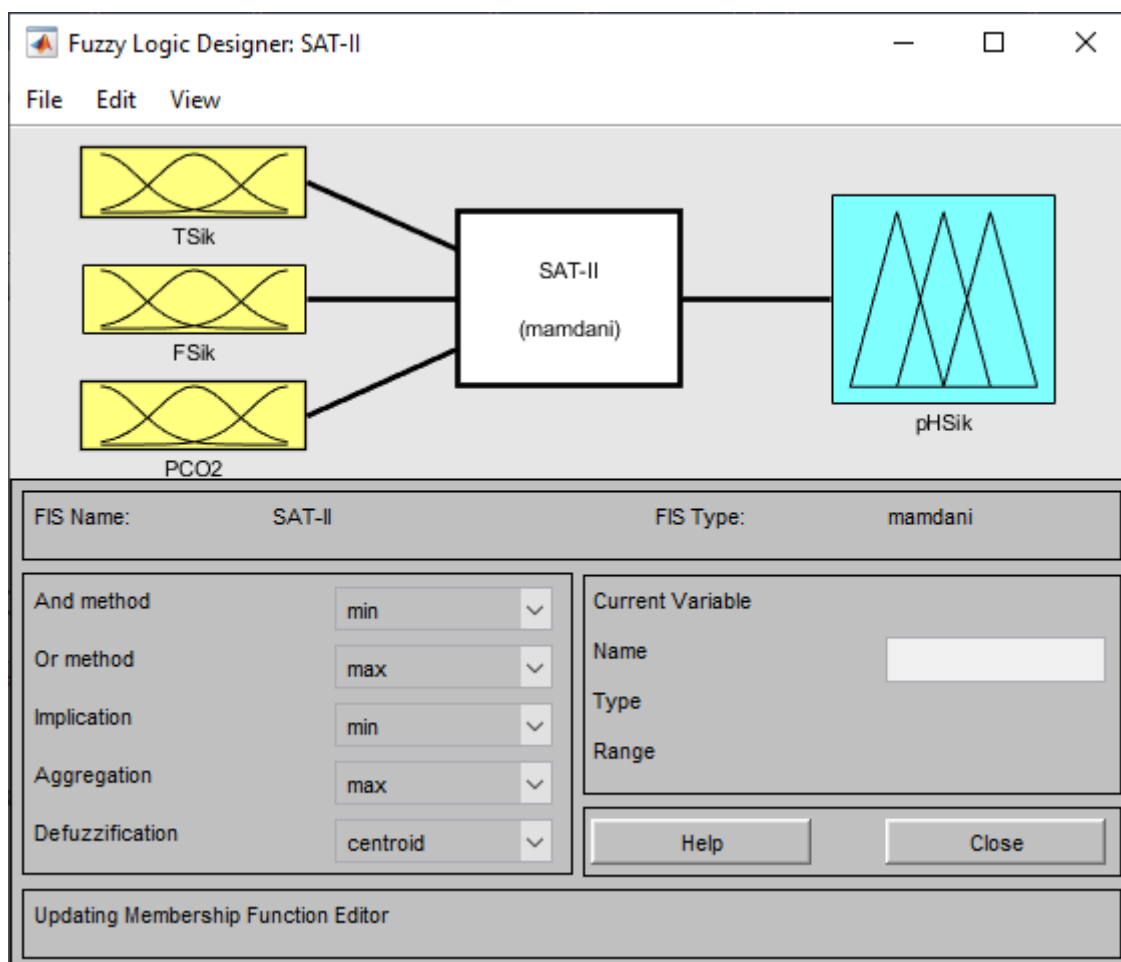


Рис. 4.1. Комп'ютерно-інтегрована система керування якістю процесом другої сатурації (KICKЯ SAT-II).

Для операцій комп'ютерно-інтегрованої системи керування якістю процесом другої сатурації (KICKЯ SAT-II) потрібно здійснити лінгвістичну апроксимацію вхідних змінних та вихідних змінних. До вхідних змінних комп'ютерно-інтегрована системи керування якістю процесом другої сатурації входять такі технологічні параметри:

- температура соку після підігрівача (TSik);
- витрата соку на другу сатурацію (FSik);
- тиск сатураційного газу (PCO2).

До вихідної змінної комп'ютерно-інтегрована системи керування якістю процесом другої сатурації відносяться рН соку другої сатурації (pHSik).

Лінгвістична апроксимація температури соку після підігрівача (TSik) для процесу другої сатурації здійснювалася за допомогою куполоподібної (gbellmf) функції належності. Нижче подані назви змінних та параметри цих функцій належності (ФН):

- VLT – (дуже низька температура) – параметри ФН: [2.5 2.5 80]; (рис. 4.2.1);
- LT – (низька температура) – параметри ФН: [2.5 2.5 85]; (рис. 4.2.2);
- NT – (нормальна температура) – параметри ФН: [2.5 2.5 90]; (рис. 4.2.3);
- HT – (висока температура) – параметри ФН: [2.5 2.5 95]; (рис. 4.2.4);
- VHT – (дуже висока температура) – параметри ФН: [2.5 2.5 100]; (рис. 4.2.5).

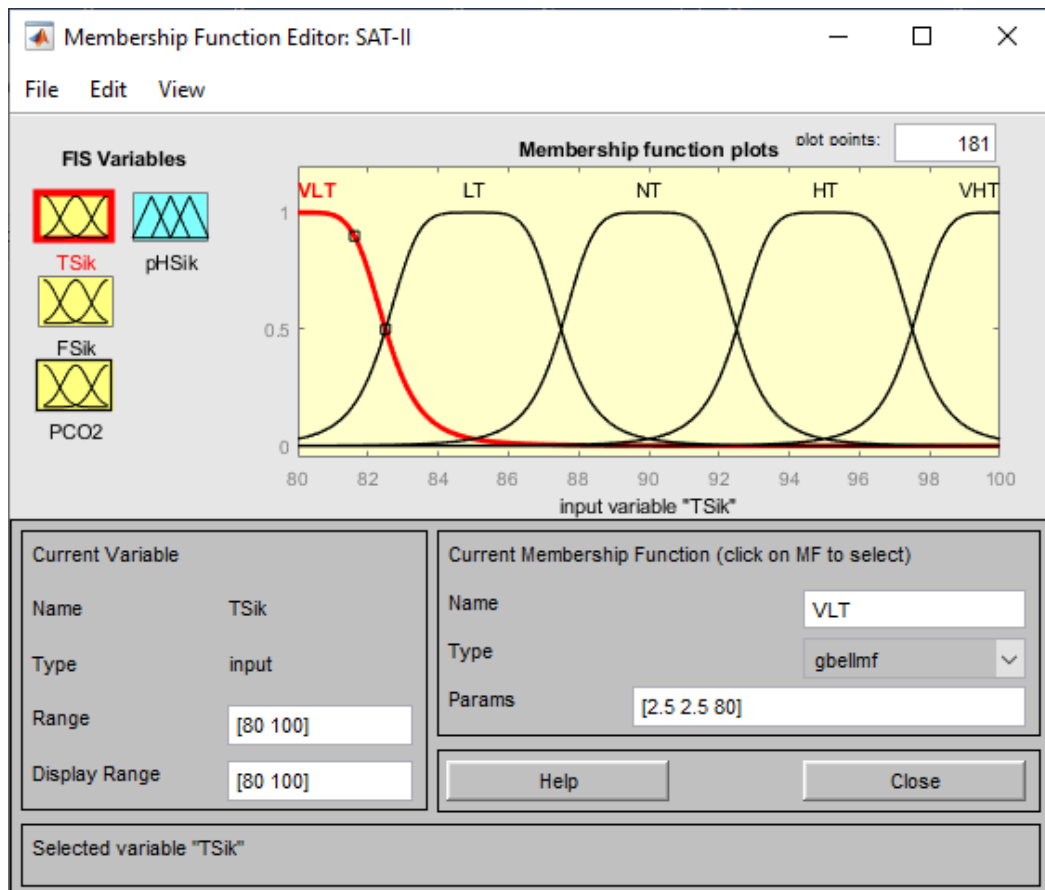


Рис. 4.2.1. Лінгвістична змінна VLT.

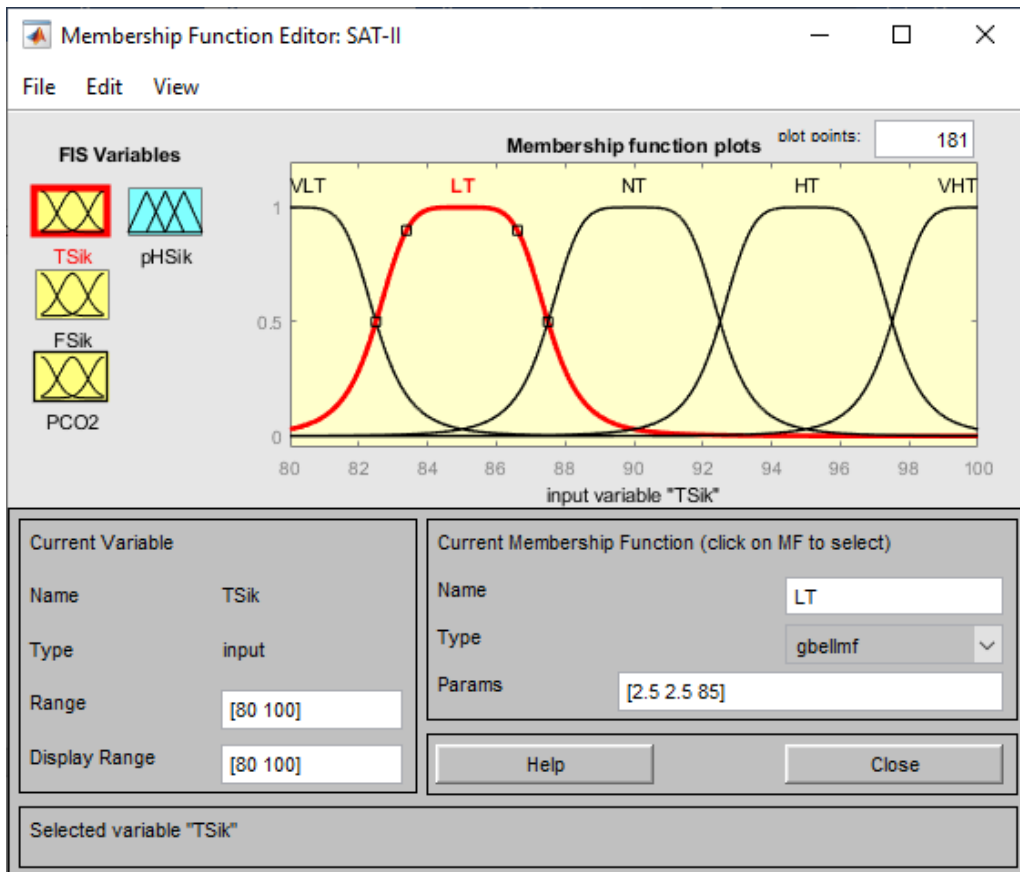


Рис. 4.2.2. Лінгвістична змінна LT.

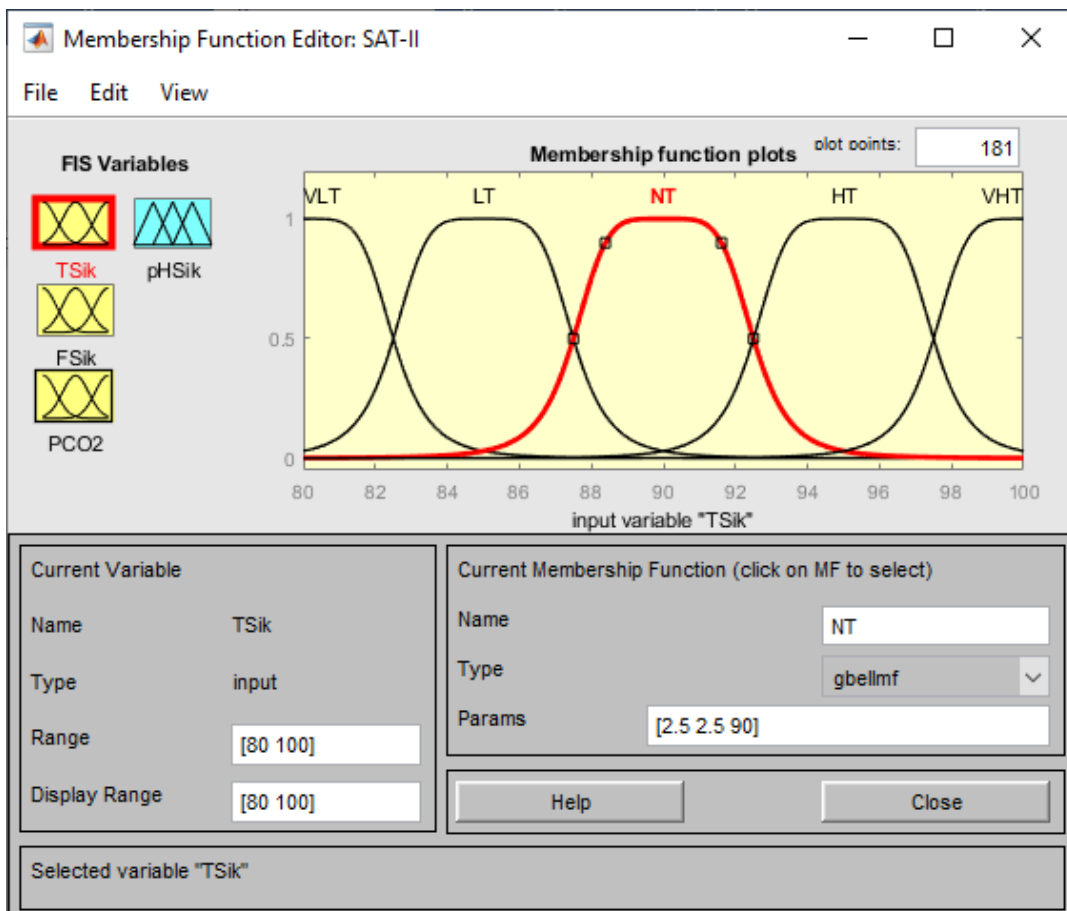


Рис. 4.2.3. Лінгвістична змінна NT.

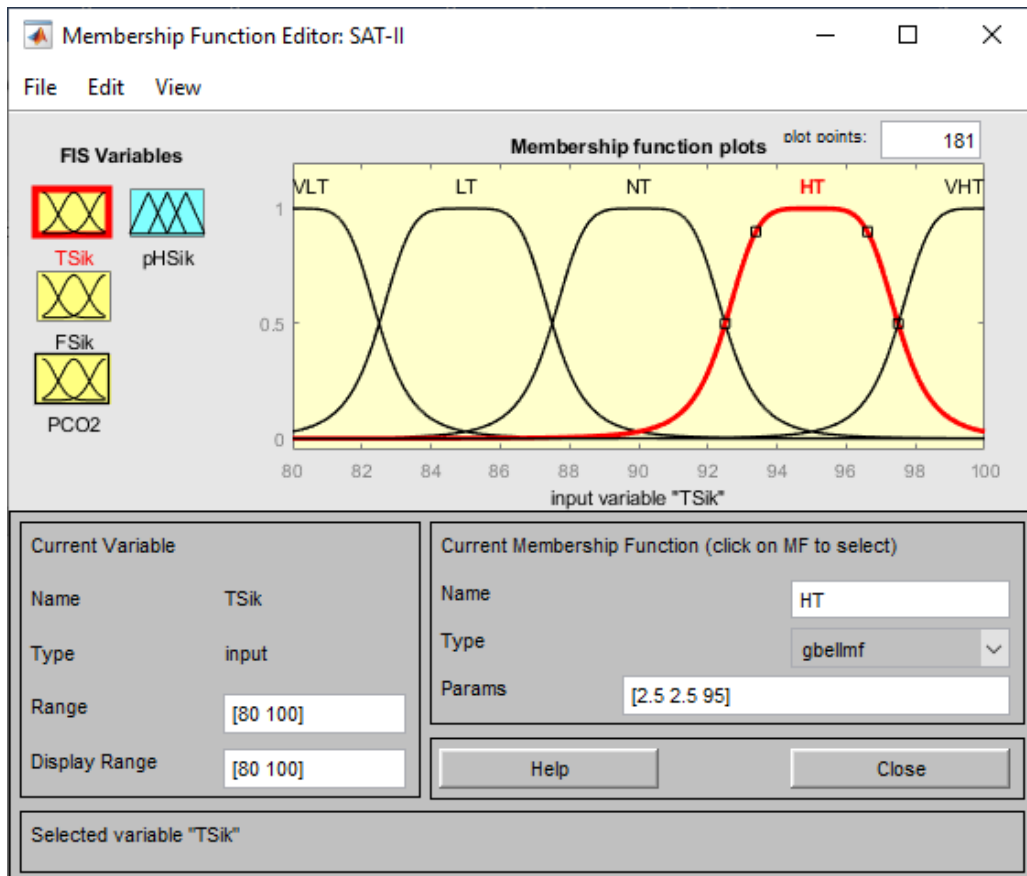


Рис. 4.2.4. Лінгвістична змінна HT.

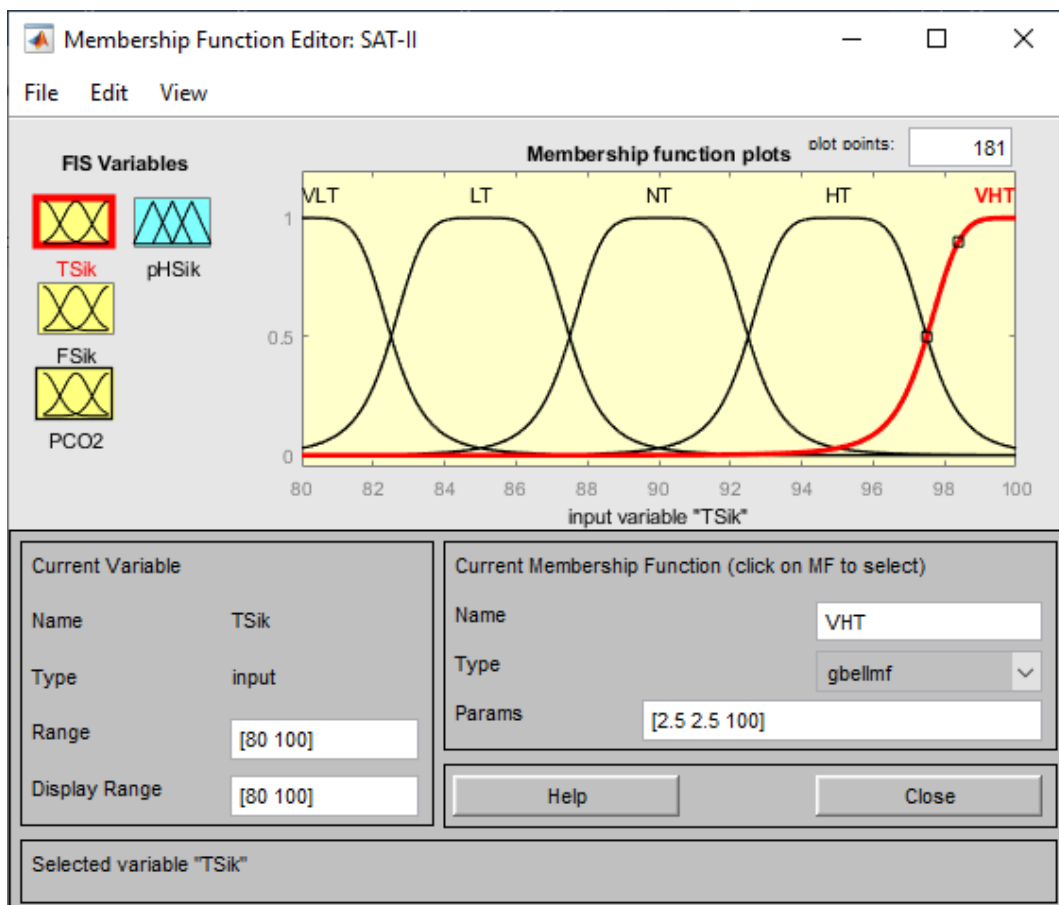


Рис. 4.2.5. Лінгвістична змінна VHT.

Лінгвістична апроксимація витрати соку (FSik) на другу сатурацію виконувалася із використанням куполоподібної (gbellmf) функції належності.

Нижче подані назви змінних та параметри цих функцій належності (ФН):

- VLF – (дуже низька витрата) – параметри ФН: [12.5 2.5 100]; (рис. 4.3.1);
- LF – (низька витрата) – параметри ФН: [12.5 2.5 125]; (рис. 4.3.2);
- NF – (нормальна витрата) – параметри ФН: [12.5 2.5 150]; (рис. 4.3.3);
- HF – (висока витрата) – параметри ФН: [12.5 2.5 175]; (рис. 4.3.4);
- VHF – (дуже висока витрата) – параметри ФН: [12.5 2.5 200]; (рис. 4.3.5).

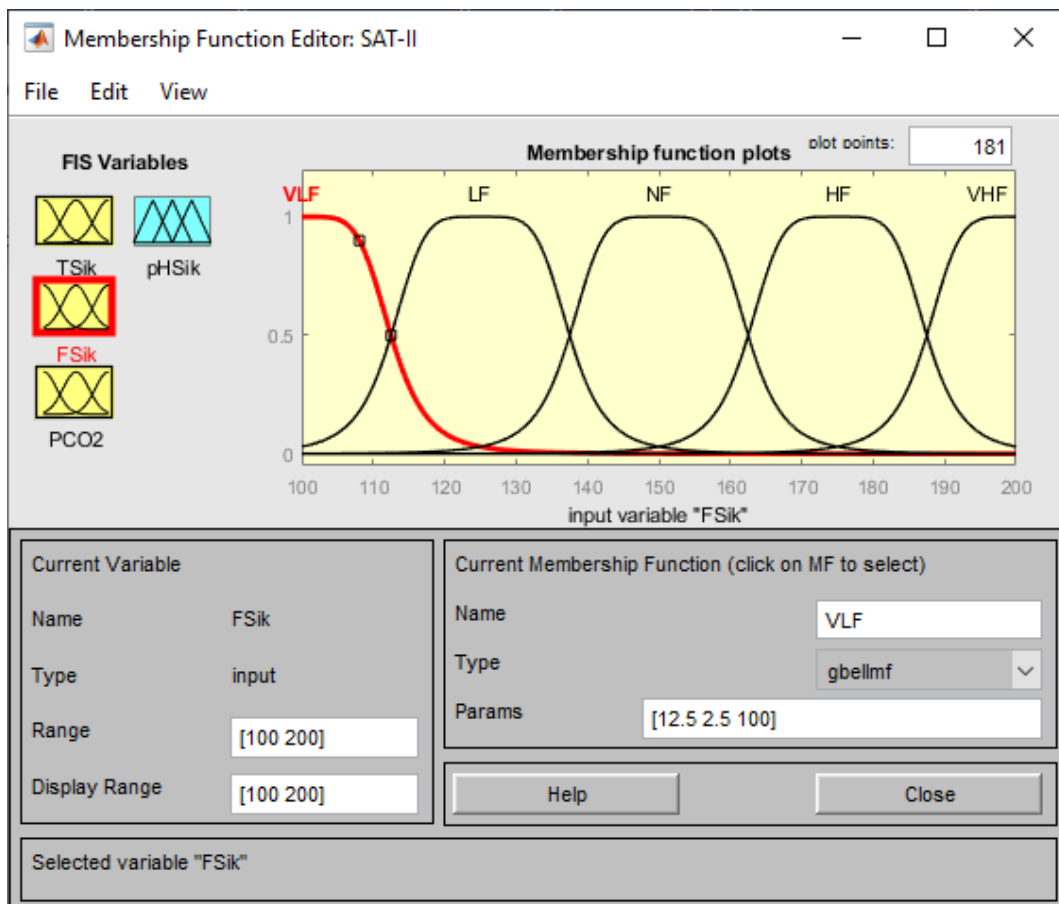


Рис. 4.3.1. Лінгвістична змінна VLF.

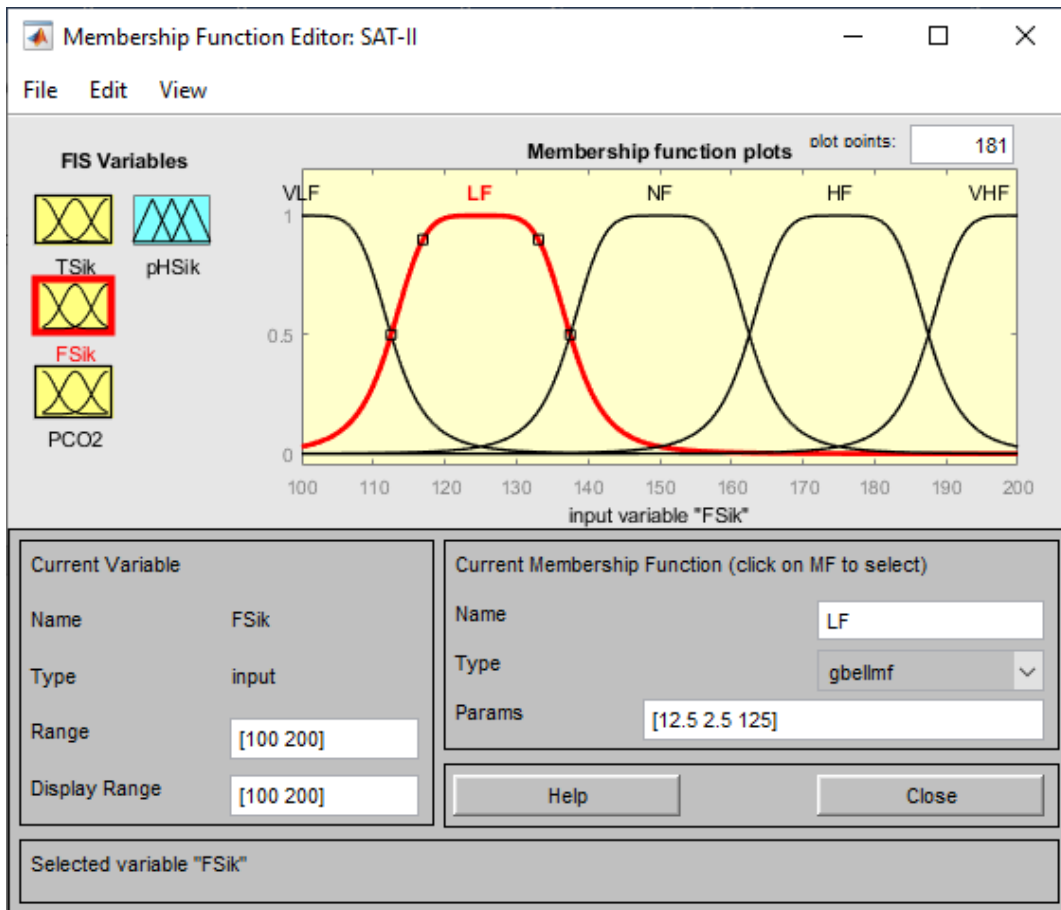


Рис. 4.3.2. Лінгвістична змінна LF.

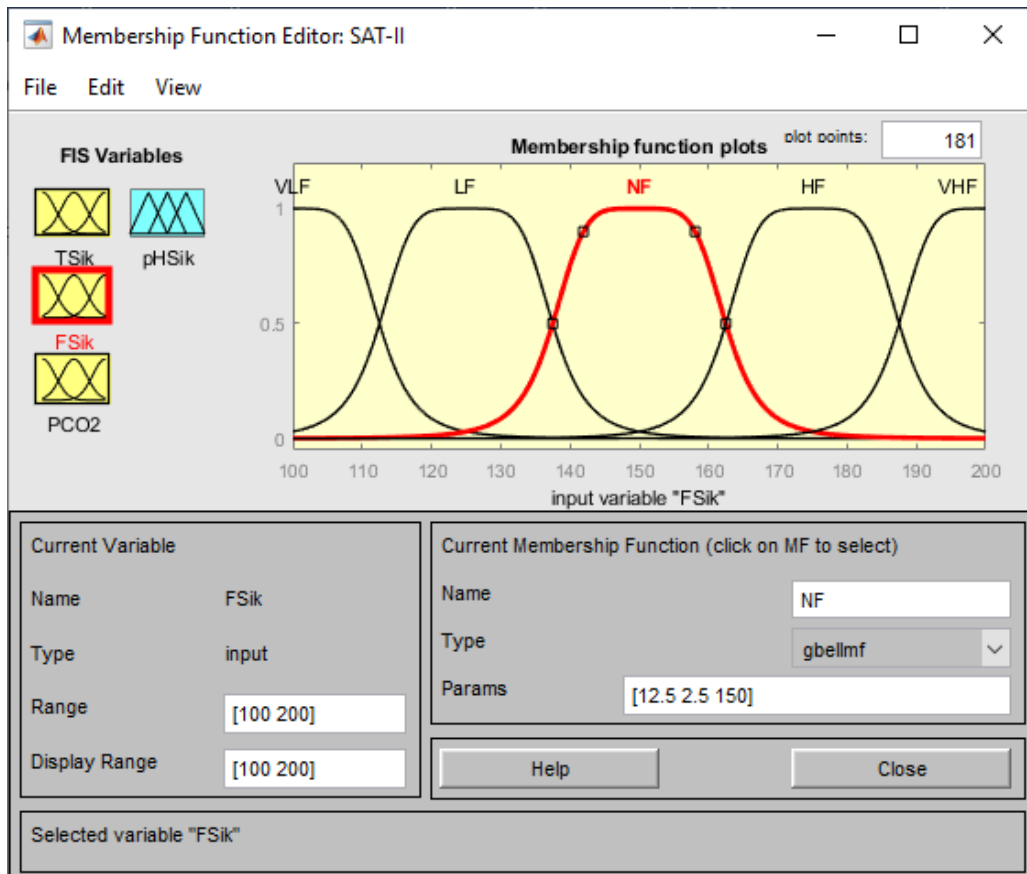


Рис. 4.3.3. Лінгвістична змінна NF.

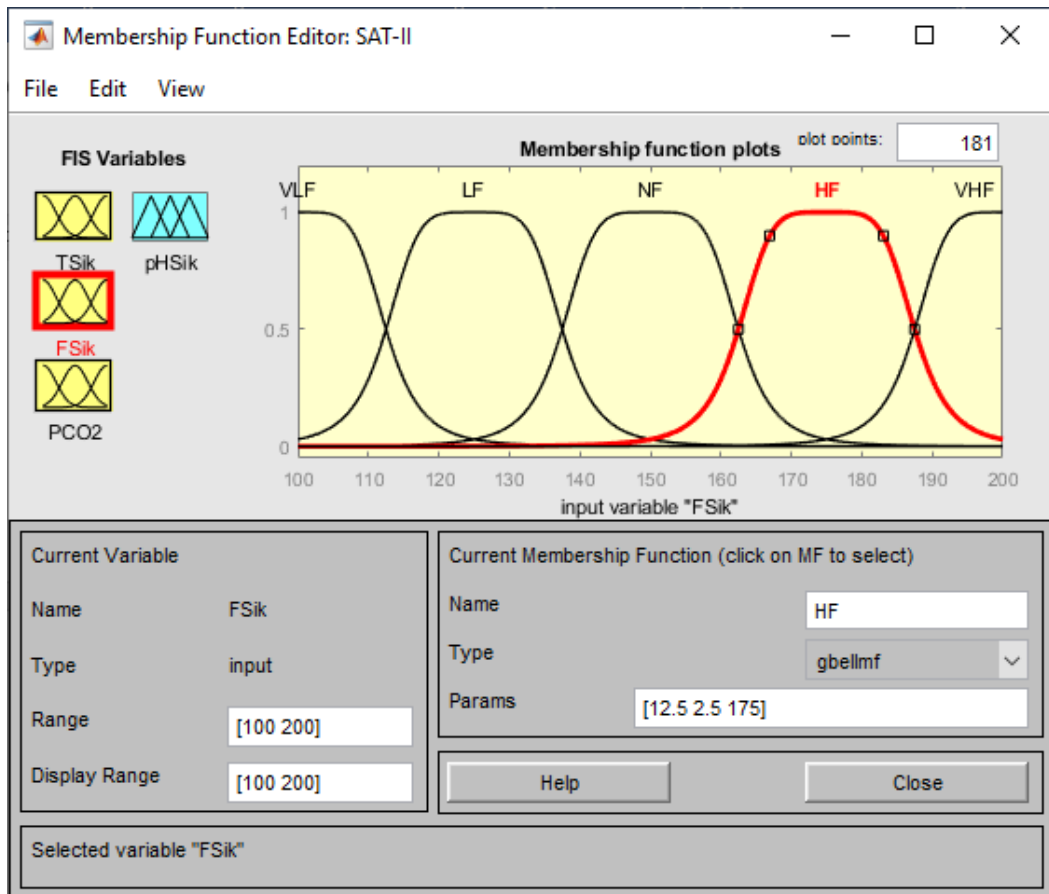


Рис. 4.3.4. Лінгвістична змінна HF.

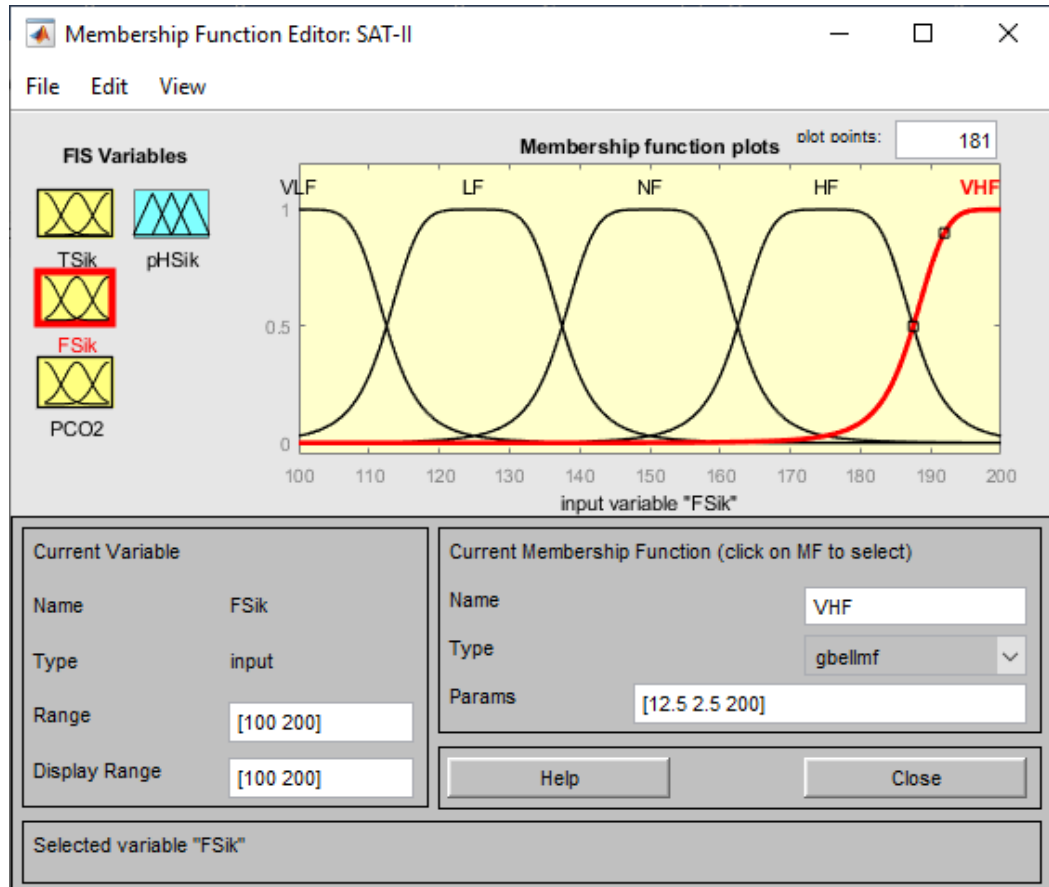


Рис. 4.3.5. Лінгвістична змінна VHF.

Лінгвістична апроксимація тиску сатураційного газу (PCO2) на другу сатурацію здійснювалась за допомогою куполоподібної (gbellmf) функції належності. Нижче подані назви змінних та параметри цих функцій належності (ФН):

- VLP – (дуже низький тиск) – параметри ФН: [2.5 2.5 40]; (рис. 4.4.1);
- LP – (низький тиск) – параметри ФН: [2.5 2.5 45]; (рис. 4.4.2);
- NP – (нормальний тиск) – параметри ФН: [2.5 2.5 50]; (рис. 4.4.3);
- HP – (високий тиск) – параметри ФН: [2.5 2.5 55]; (рис. 4.4.4);
- VHP – (дуже високий тиск) – параметри ФН: [2.5 2.5 60]; (рис. 4.4.5).

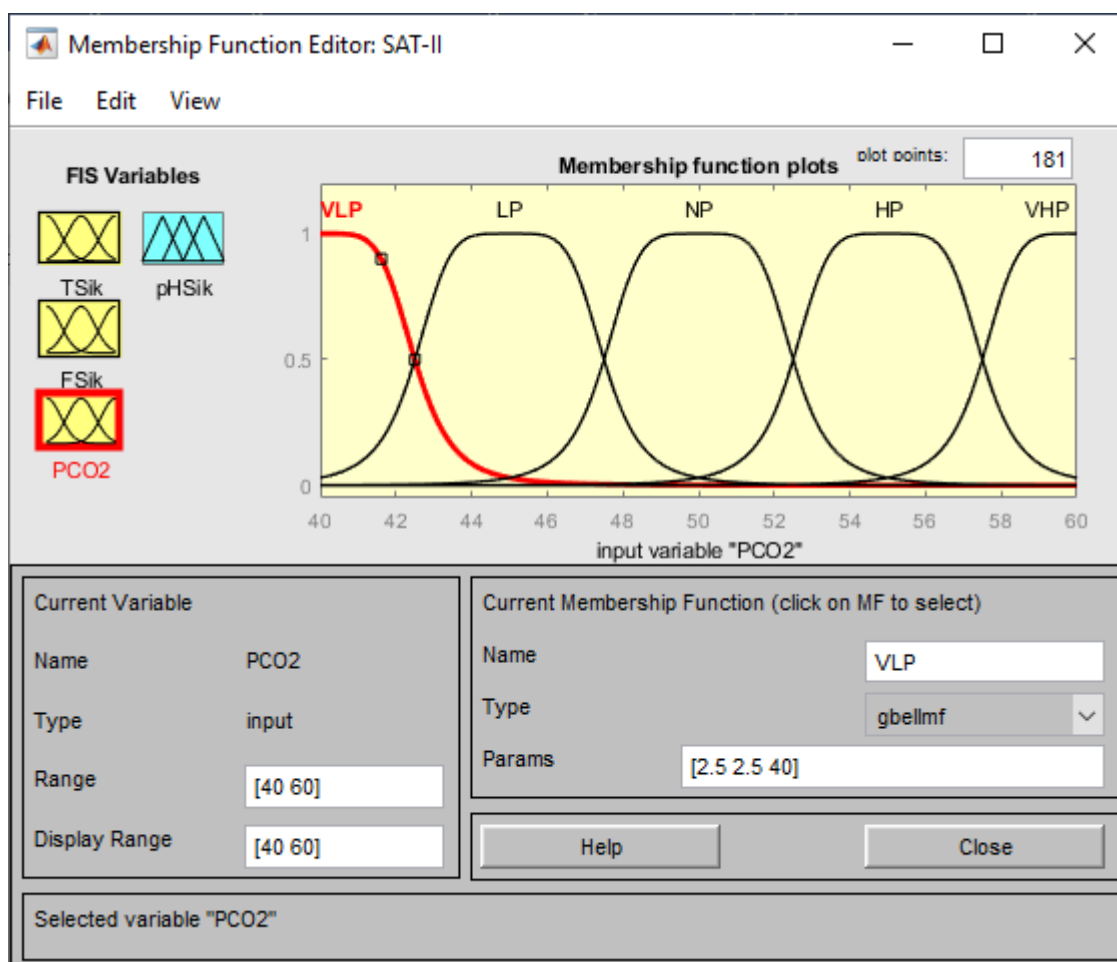


Рис. 4.4.1. Лінгвістична змінна VLP.

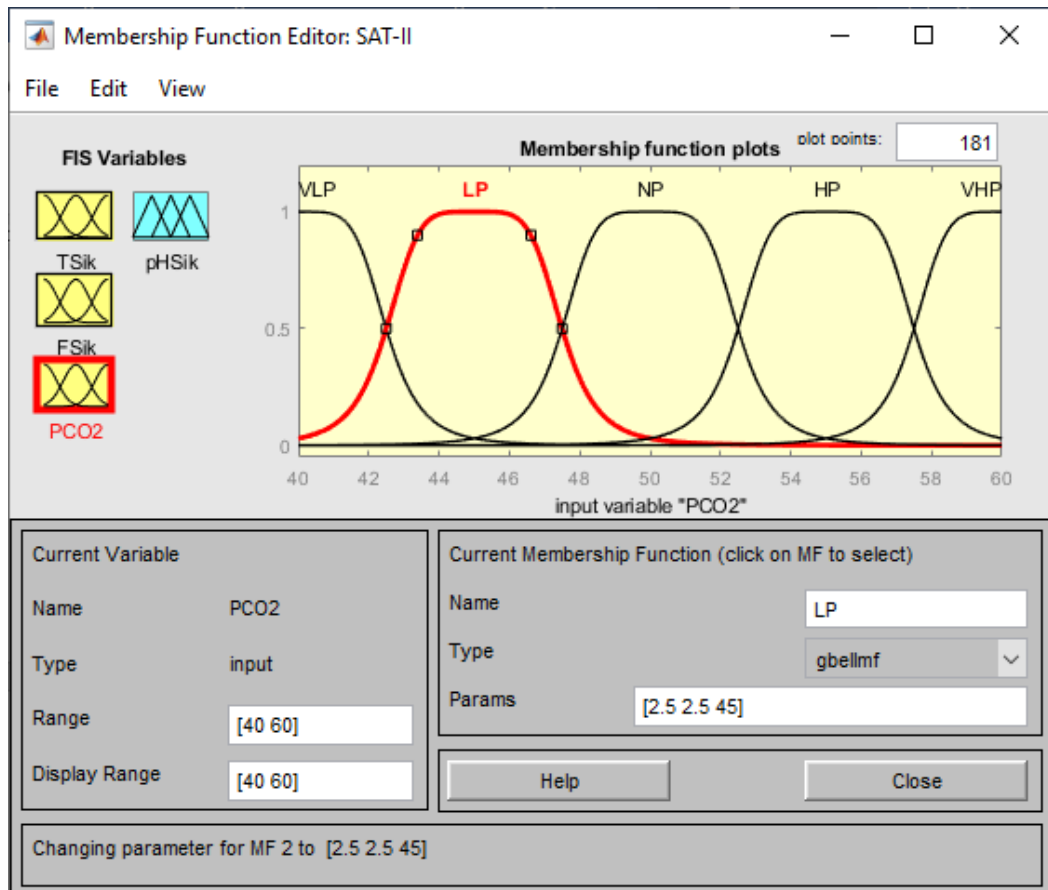


Рис. 4.4.2. Лінгвістична змінна LP.

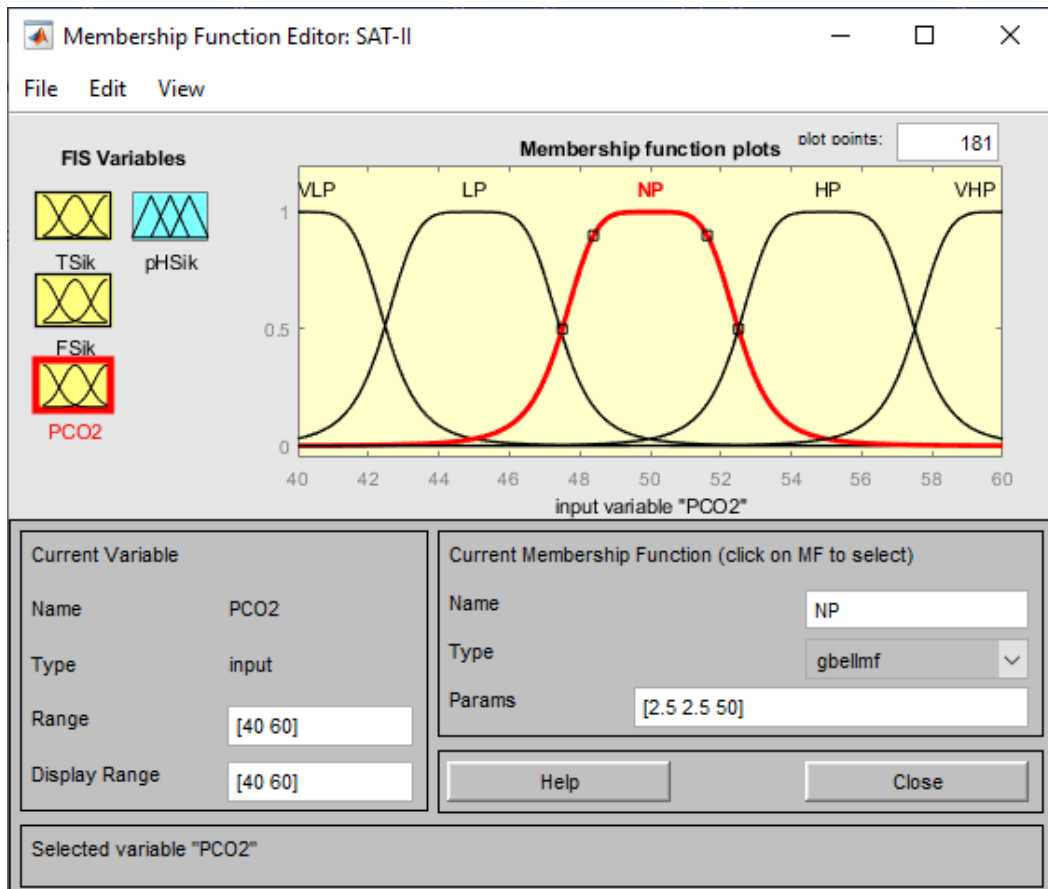


Рис. 4.4.3. Лінгвістична змінна NP.

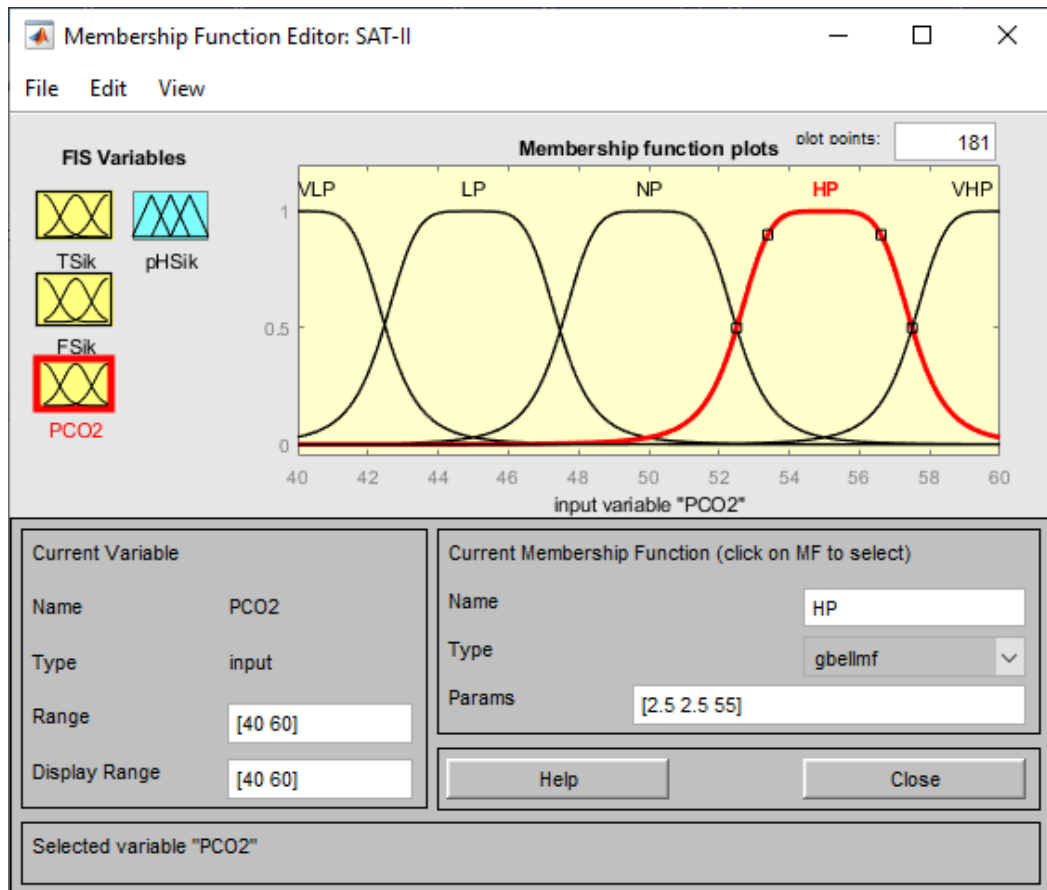


Рис. 4.4.4. Лінгвістична змінна HP.

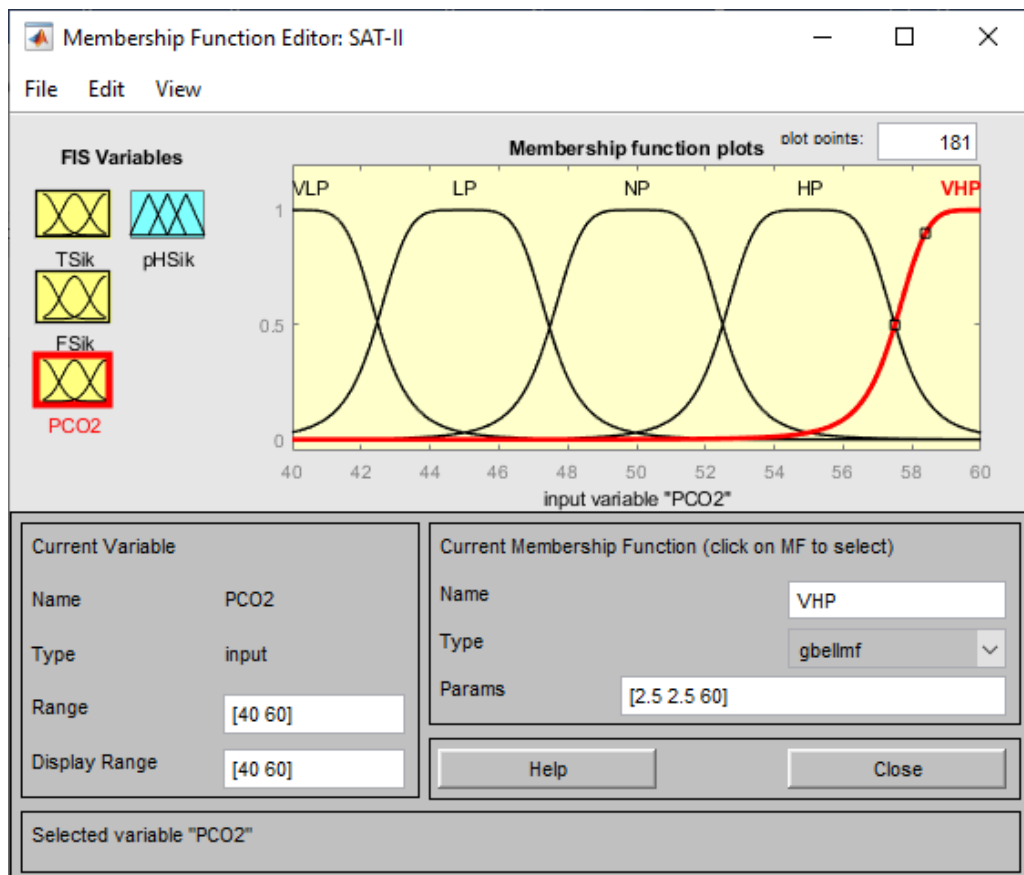


Рис. 4.4.5. Лінгвістична змінна VLP.

Лінгвістична апроксимація тиску рН соку другої сатурації (pHSik) здійснювалась за допомогою куполоподібної (gbellmf) функції належності. Нижче подані назви змінних та параметри цих функцій належності (ФН):

- VLPН – (дуже низький рН) – параметри ФН: [0.375 2.5 8]; (рис. 4.5.1);
- LPН – (низький рН) – параметри ФН: [0.375 2.5 8.75]; (рис. 4.5.2);
- NPН – (нормальний рН) – параметри ФН: [0.375 2.5 9.5]; (рис. 4.5.3);
- HPН – (високий рН) – параметри ФН: [0.375 2.5 10.25]; (рис. 4.5.4);
- VHPН – (дуже високий рН) – параметри ФН: [0.375 2.5 11]; (рис. 4.5.5).

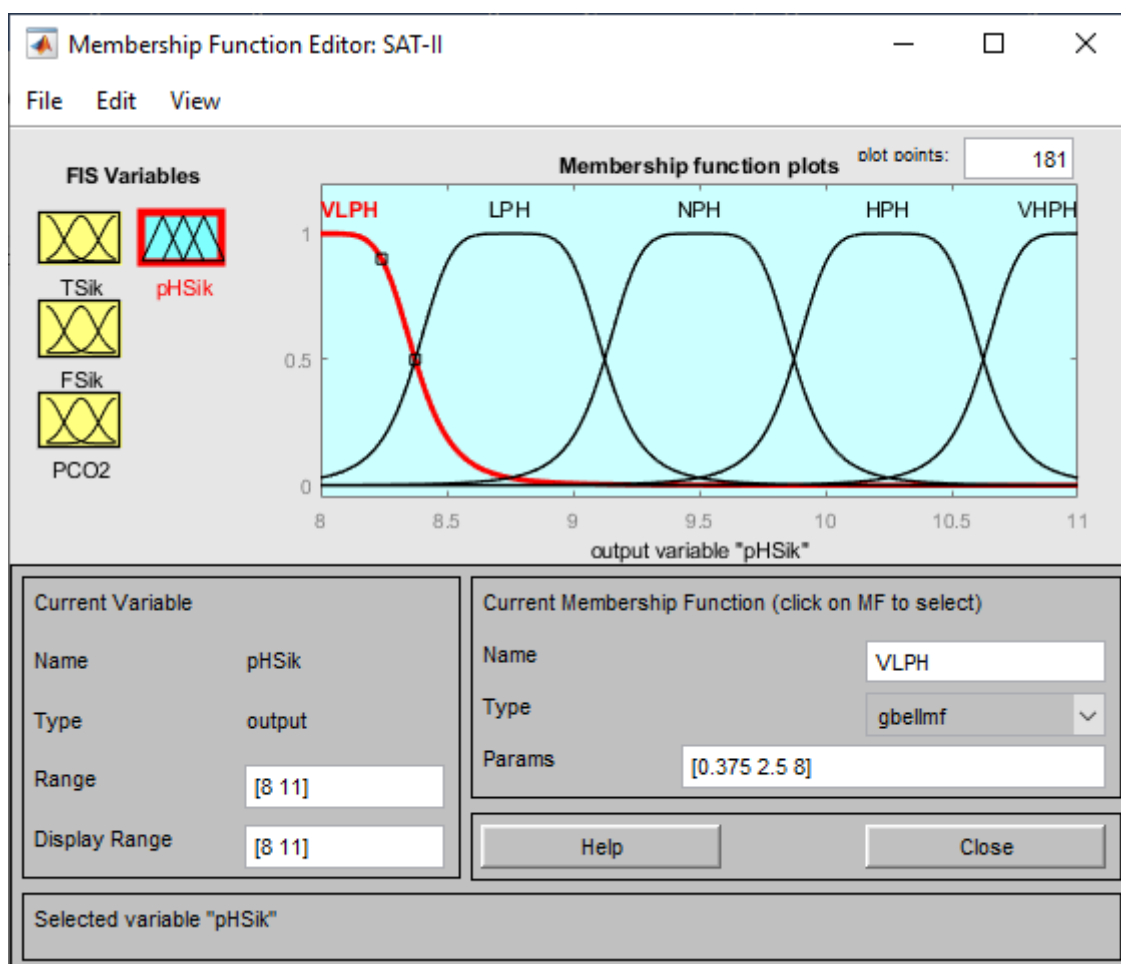


Рис. 4.5.1. Лінгвістична змінна VLPН.

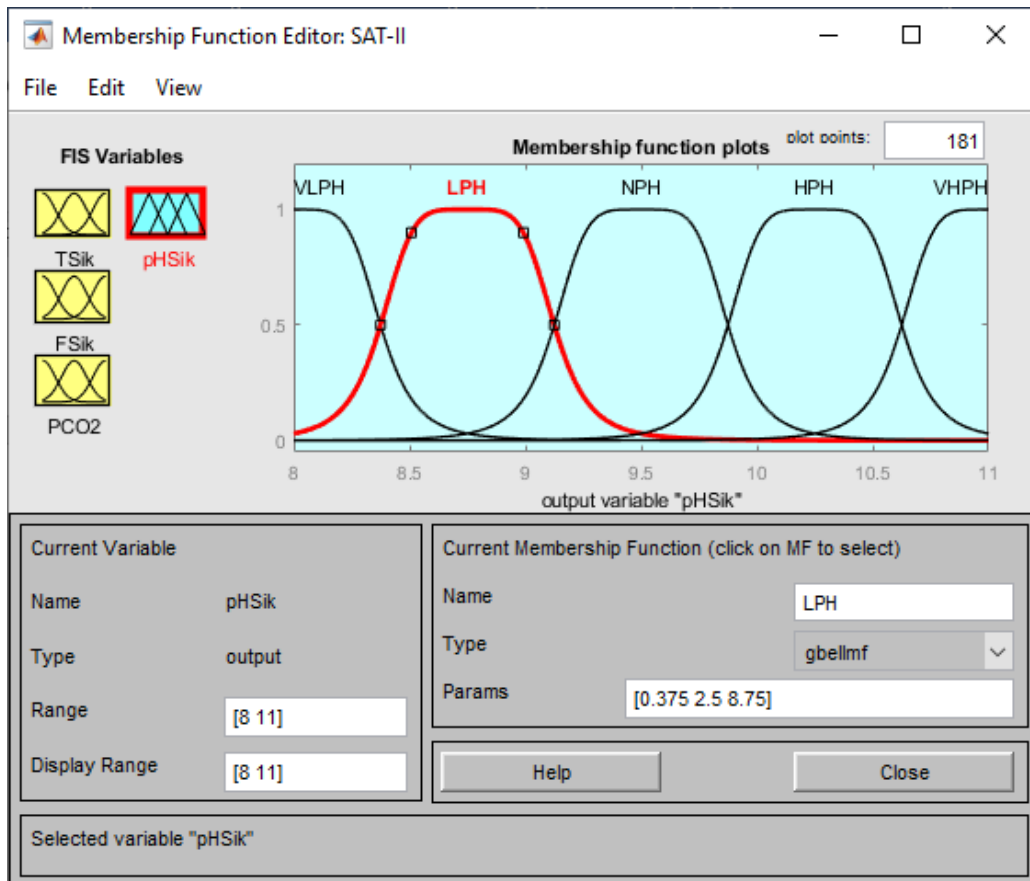


Рис. 4.5.2. Лінгвістична змінна LPH.

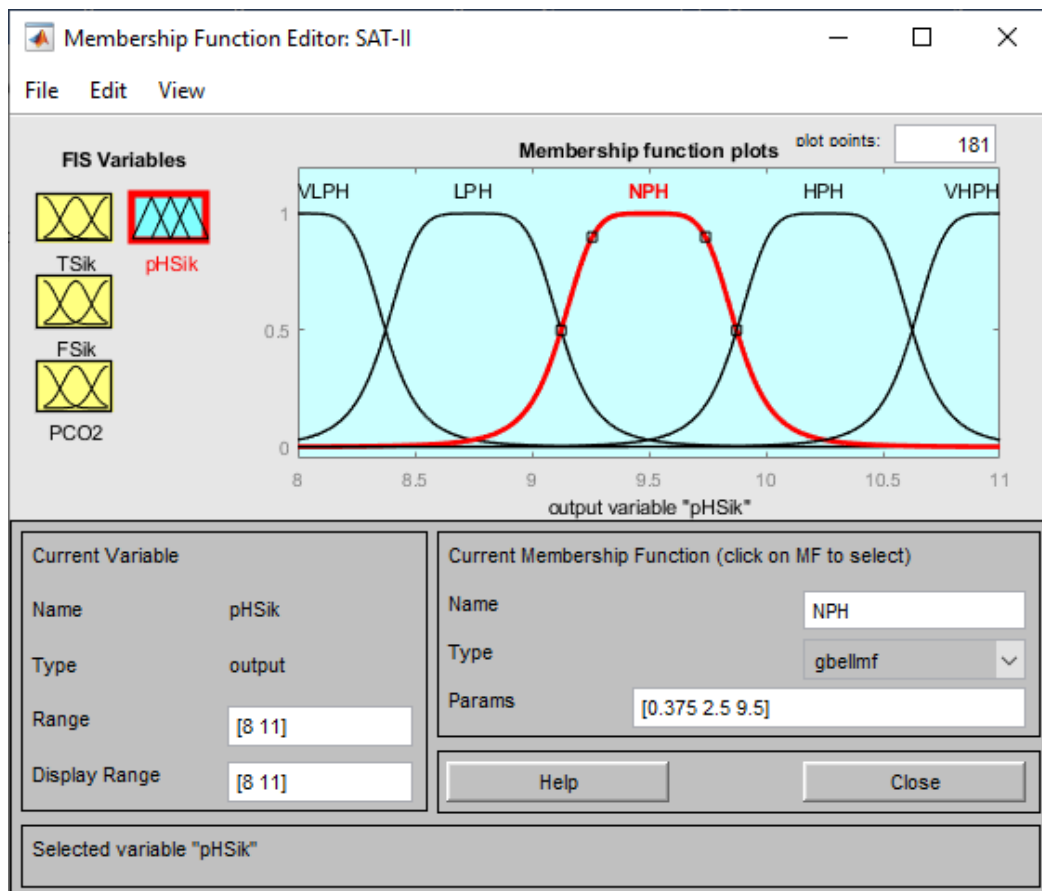


Рис. 4.5.3. Лінгвістична змінна NPH.

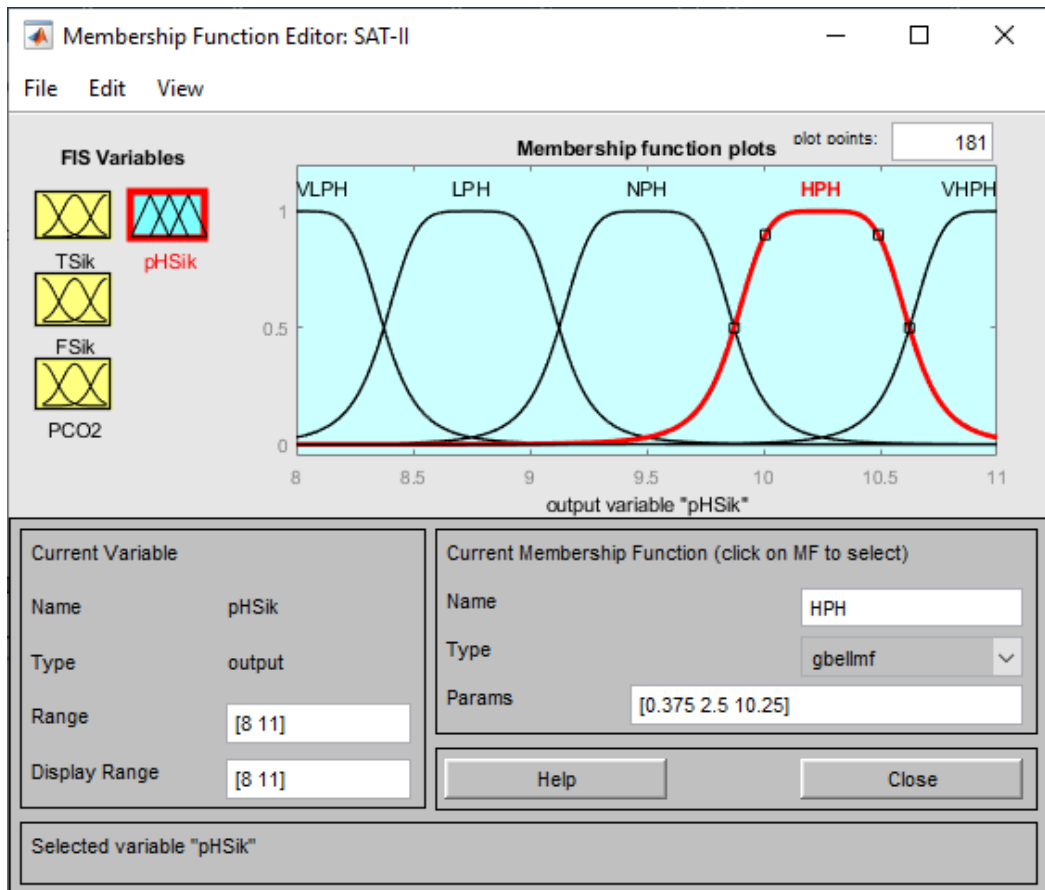


Рис. 4.5.4. Лінгвістична змінна НРН.

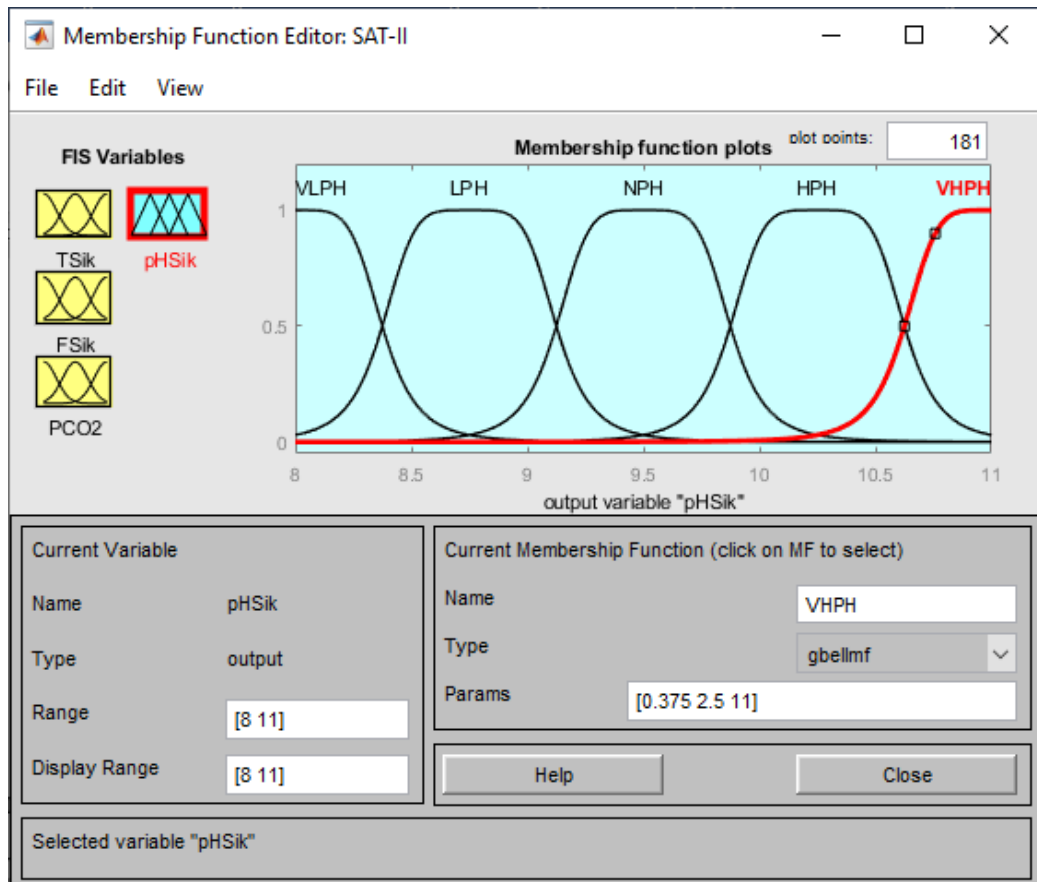


Рис. 4.5.5. Лінгвістична змінна VLPH.

Комп'ютерно-інтегрована система керування якістю процесом другої сатурації (ІСКЯ САТ-II) працює за наступними правилами, що вказано на рис. 4.6.1 та 4.6.2.

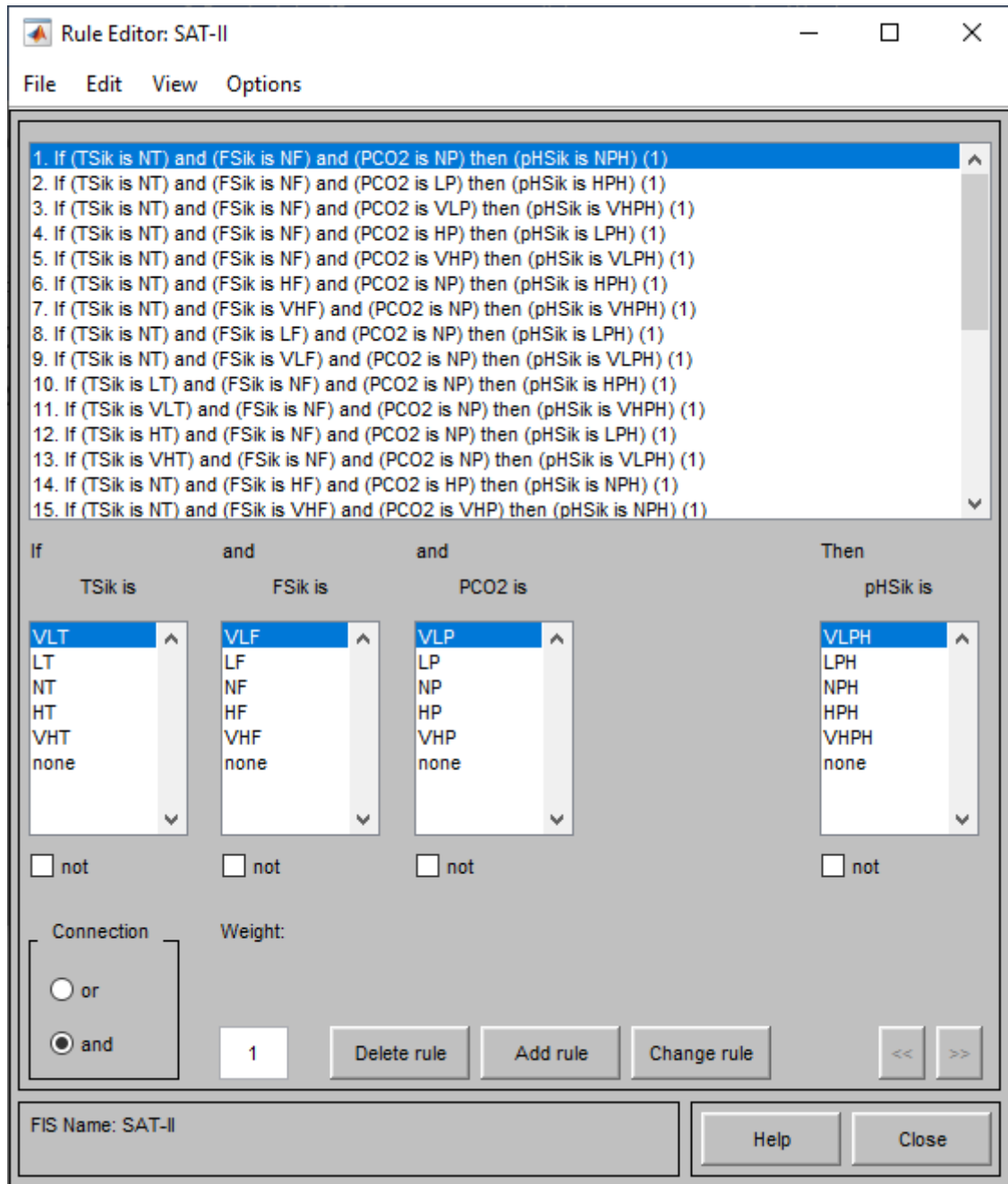


Рис. 4.6.1. База правил ІСКЯ САТ-II.

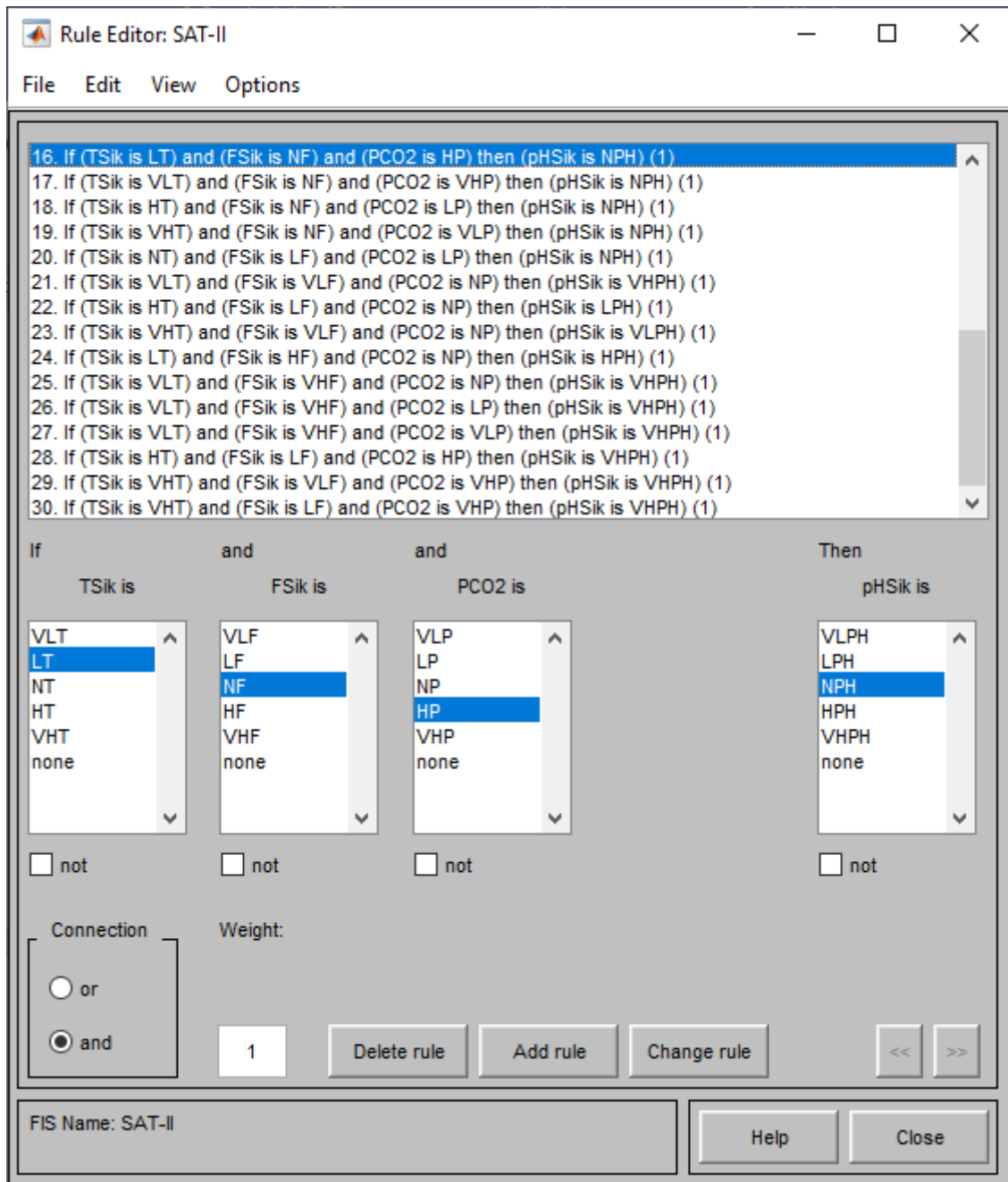


Рис. 4.6.2. База правил ИСКЯ САТ-II.

Поверхня відгуку, що відображає залежність рН соку після другої сатурації від температури соку та витрати соку на другу сатурацію (рис. 4.7.1), побудована відповідно до бази правил. Вона ілюструє, як рН соку змінюється при зміні температури соку та витрати соку.

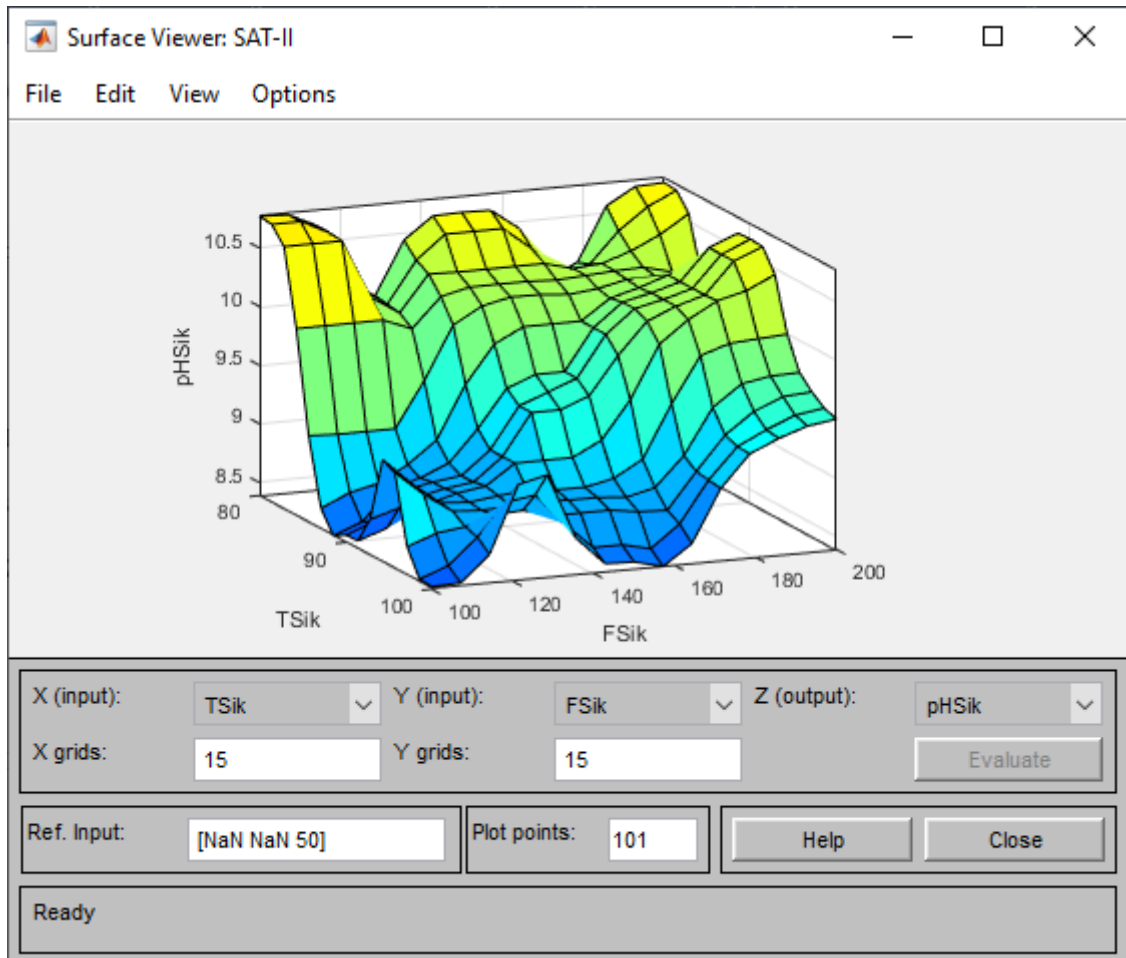


Рис. 4.7.1. Поверхня відгуку залежності рН від температури та витрати соку.

Поверхня відгуку, що відображає залежність рН соку після другої сатурації від температури соку та тиску сатураційного газу (рис. 4.7.2), побудована відповідно до бази правил КІСКЯ САТ-II. Вона демонструє, як рН соку змінюється внаслідок змін температури соку та тиску сатураційного газу.

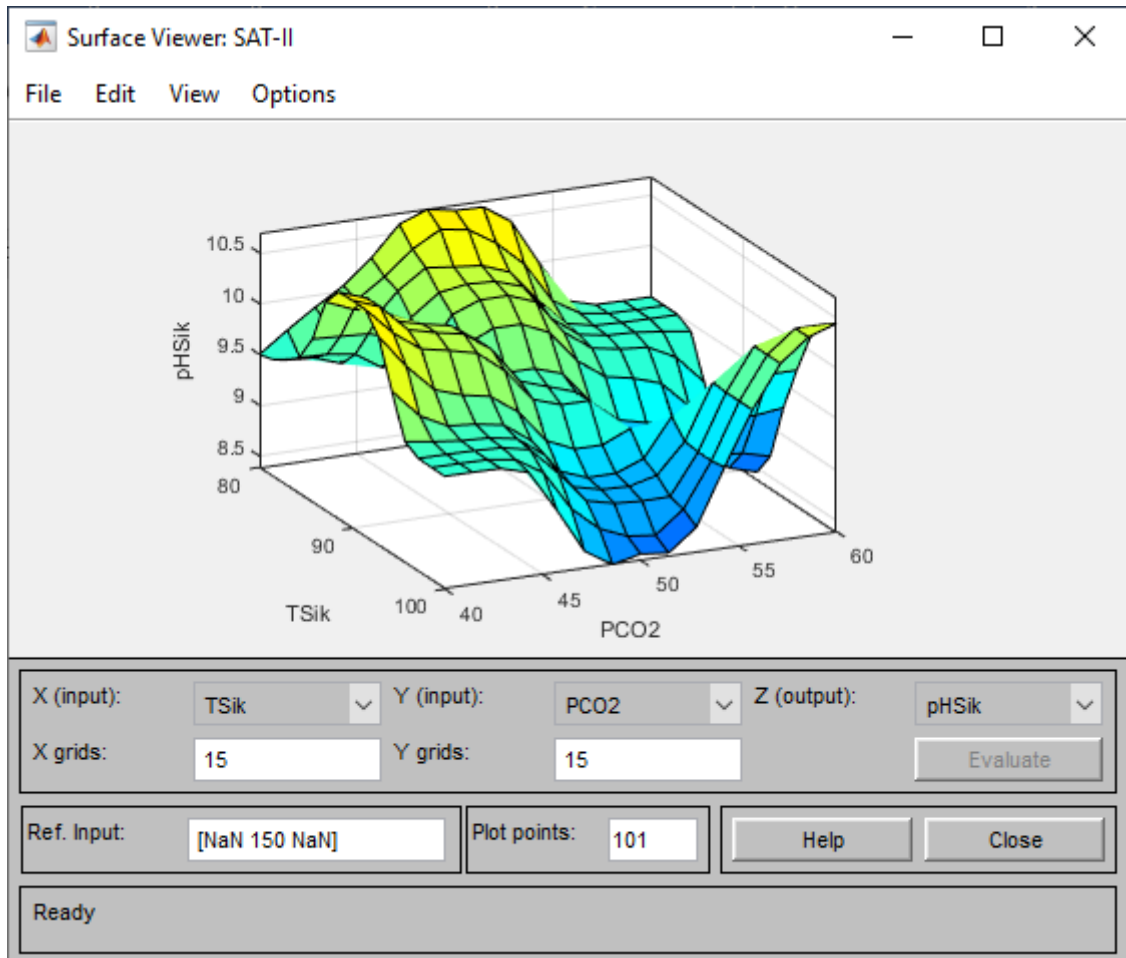


Рис. 4.7.2. Поверхня відгуку залежності рН від температури соку та тиску сатураційного газу.

Поверхня відгуку, що відображає залежність рН соку після другої сатурації від витрати соку та тиску сатураційного газу (рис. 4.7.3), побудована відповідно до бази правил ІСКЯ САТ-II. Вона ілюструє, як рН соку змінюється внаслідок змін витрати соку та тиску сатураційного газу.

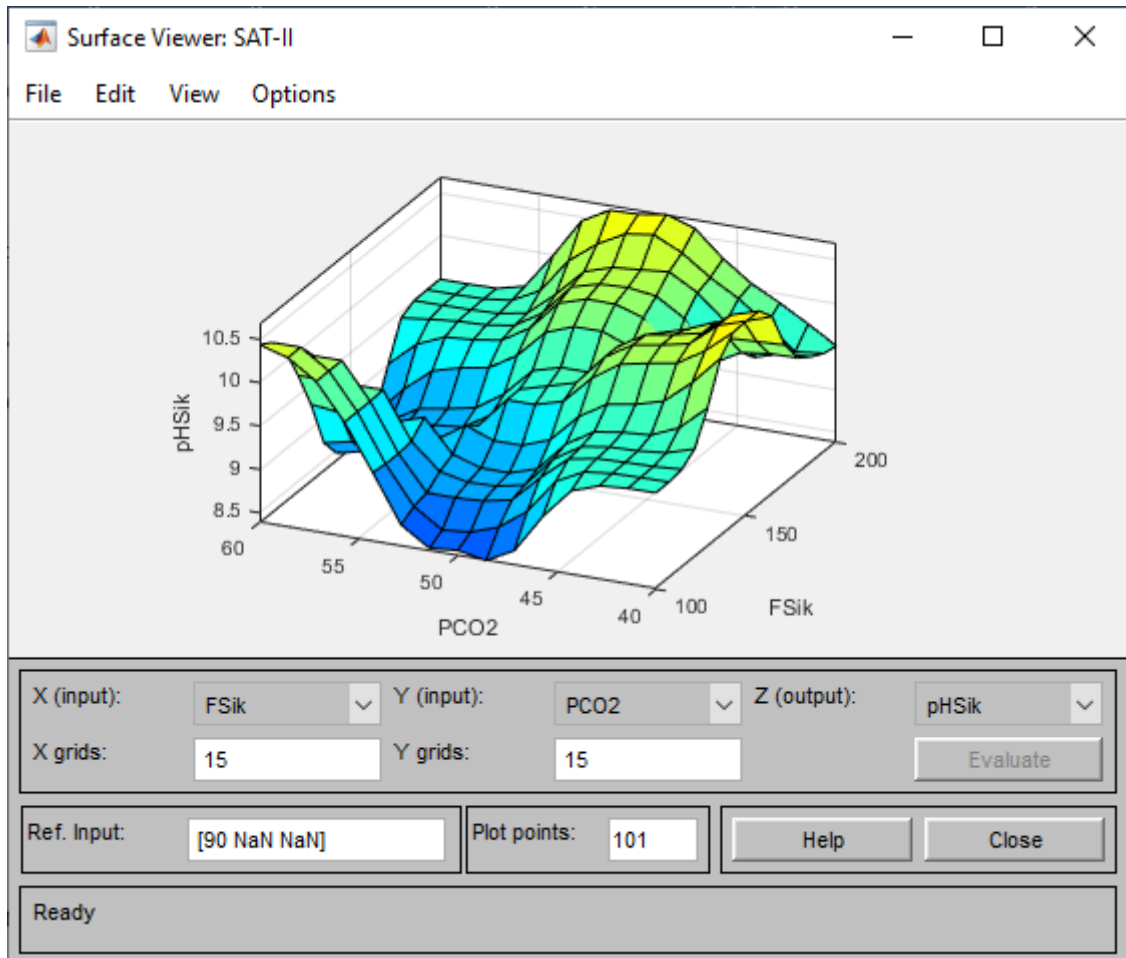


Рис. 4.7.3. Поверхня відгуку залежності рН від витрати соку та тиску сатураційного газу.

Функціонування правил комп'ютерно-інтегрованої системи керування якістю процесом другої сатурації (КІСКЯ САТ-II) вказано на рис. 4.8.

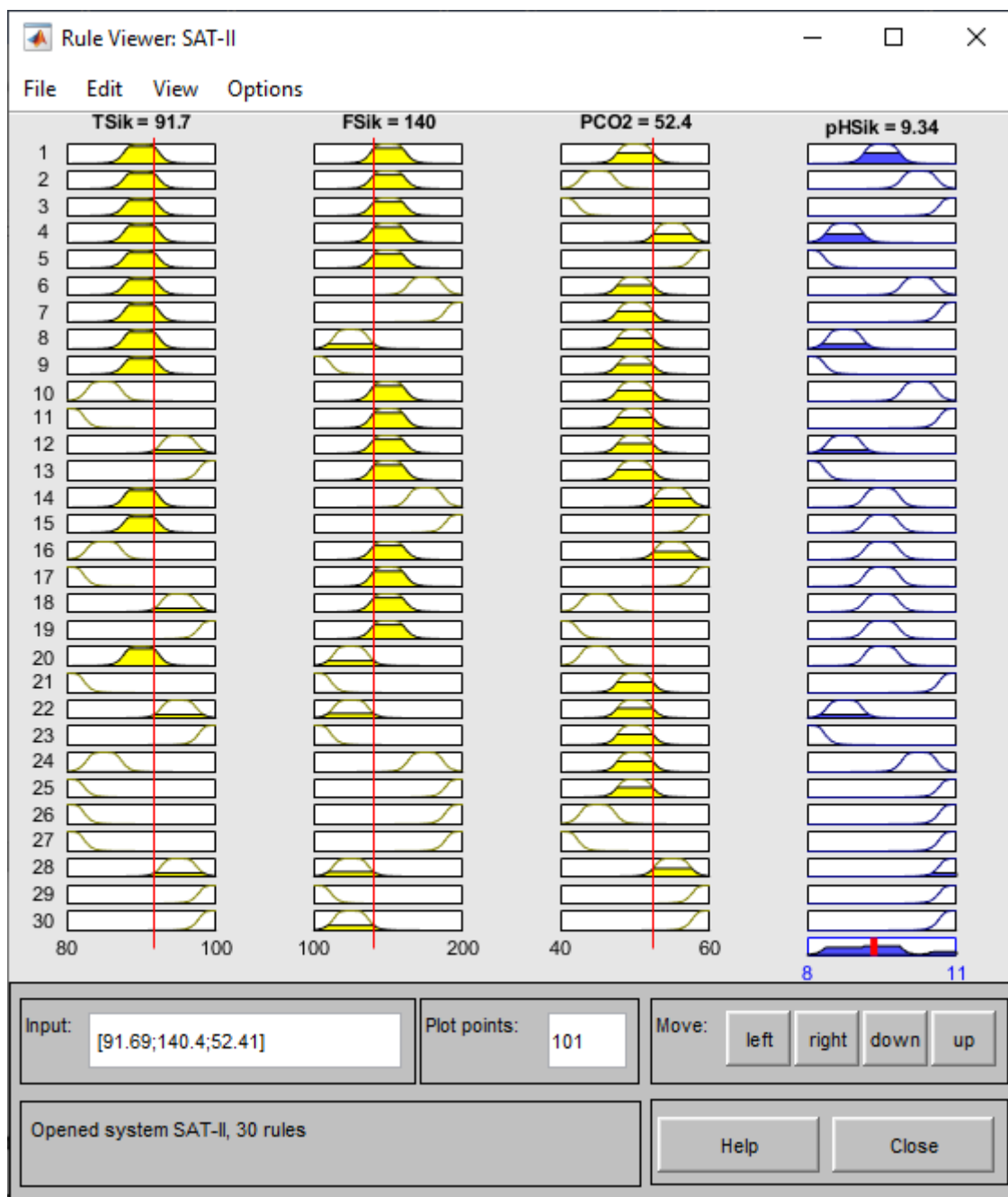


Рис. 4.8. Функціонування правил КІСКЯ САТ-II.

Комп'ютерно-інтегрована система керування якістю процесом другої сатурації (КІСКЯ САТ-II), розроблена для використання під час проходження процесу другої сатурації, дозволяє визначати рН соку на виході з другого сатуратора та здійснювати оптимальне керування процесом другої сатурації на цукровому заводі.

4.2. Побудова нечіткого регулятора для регулювання температури соку в підігрівачі перед процесом другої сатурації

Вплив температури соку перед другою сатурацією на процес другої сатурації є суттєвим. З цієї причини перед початком процесу другої сатурації сік нагрівається в підігрівачі. Модель підігрівача соку перед другою сатурацією представлена в пакеті Simulink програмного середовища MATLAB на рис. 4.9.

Температура соку, що надходить в підігрівач (блок T), та витрата соку, що поступає в підігрівач (блок F), впливають на процес нагрівання соку. Завдання для регулятора вказується в блоку ZT.

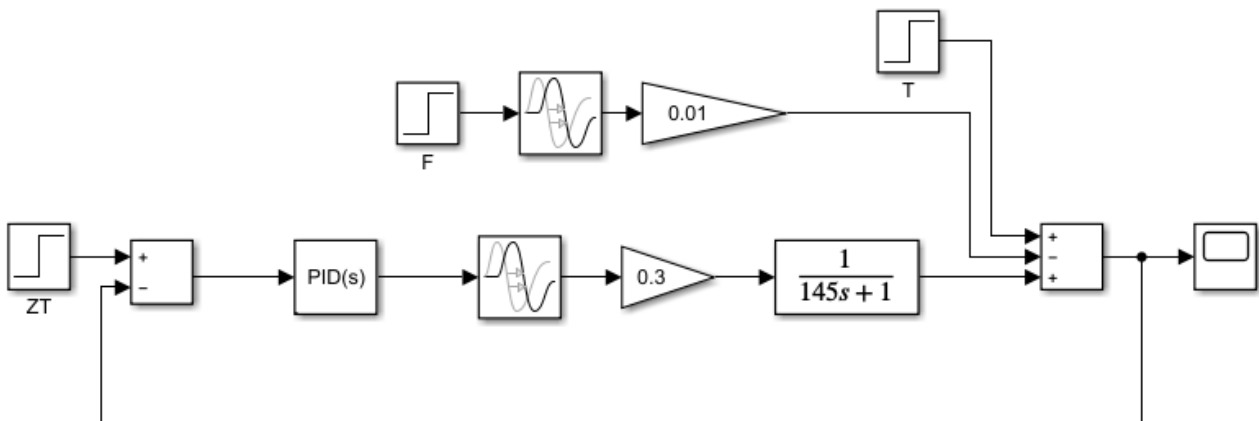


Рис. 4.9. Модель підігрівача з ПІ-регулятором.

Перехідний процес регулювання температури соку в підігрівачі за допомогою ПІ-регулятора вказано на рис. 4.10.

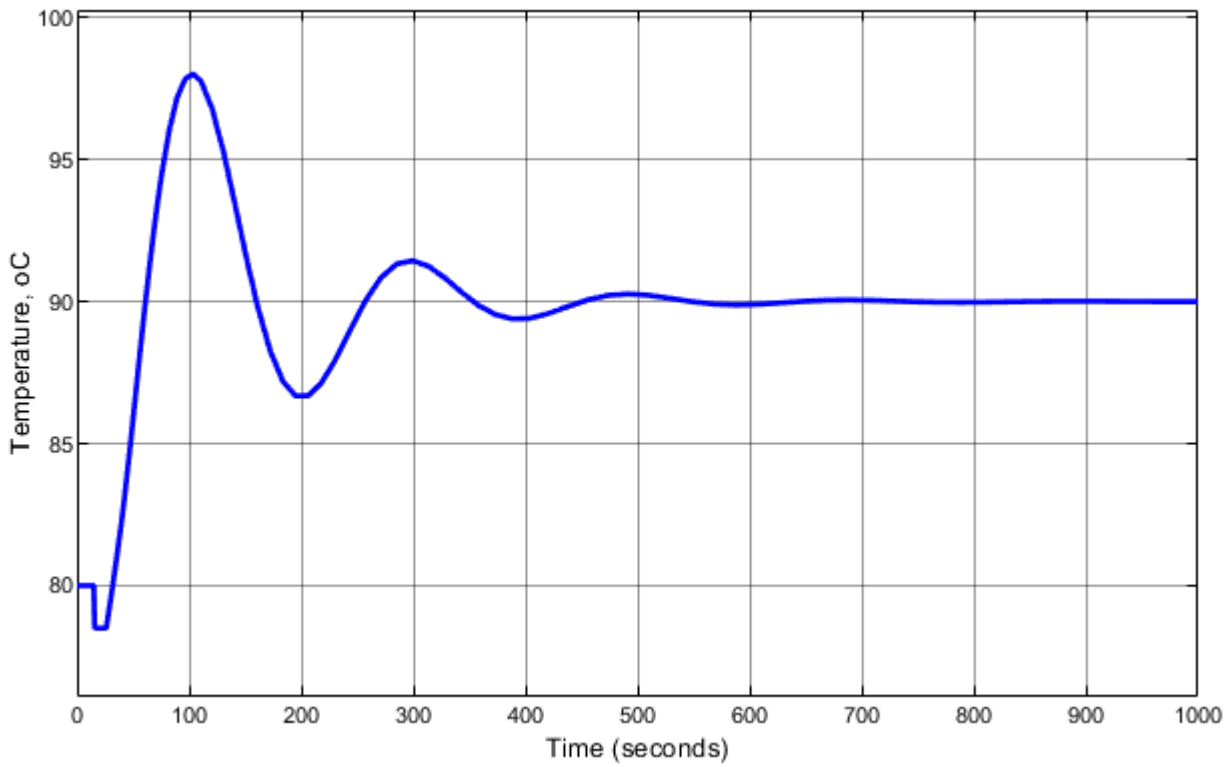


Рис. 4.10. Перехідний процес регулювання температури соку в підігрівачі ПІ-регулятором.

Для покращення перехідного процесу регулювання температури соку в підігрівачі був використаний нечіткий регулятор, що працює за алгоритмом Сугено. Структура використаного нечіткого регулятора наведена на рис. 4.11.

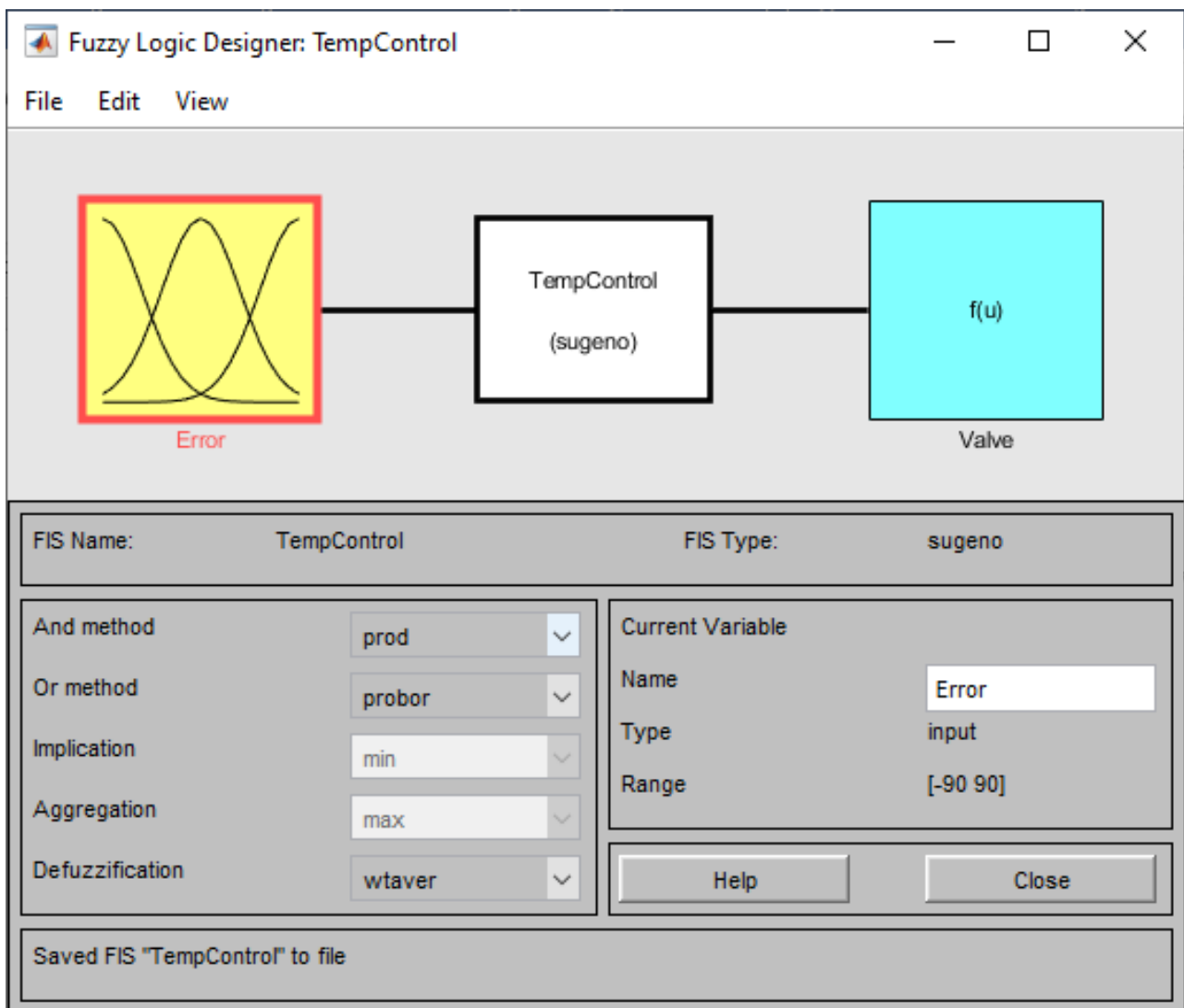


Рис. 4.11. Використана структура нечіткого регулятора.

Вхідним сигналом для нечіткого регулятора є похибка, яка представляє собою різницю між заданою температурою та фактично виміряною. Вихідним сигналом є керуюча дія, а саме ступінь відкриття клапану подачі пари.

Лінгвістична апроксимація похибки на вході регулятора описується трикутними (trimf) функціями належності (ФН). Використані назви змінних та параметри цих функцій належності (ФН):

- EN – error negative – негативна похибка, параметри ФН: [-90 -90 2]; (рис. 4.12.1);
- EZ – error zero – нульова похибка, параметри ФН: [-2 0 2]; (рис. 4.12.2);
- EP – positive error – позитивна похибка, параметри ФН: [2 90 90]; (рис. 4.12.3).

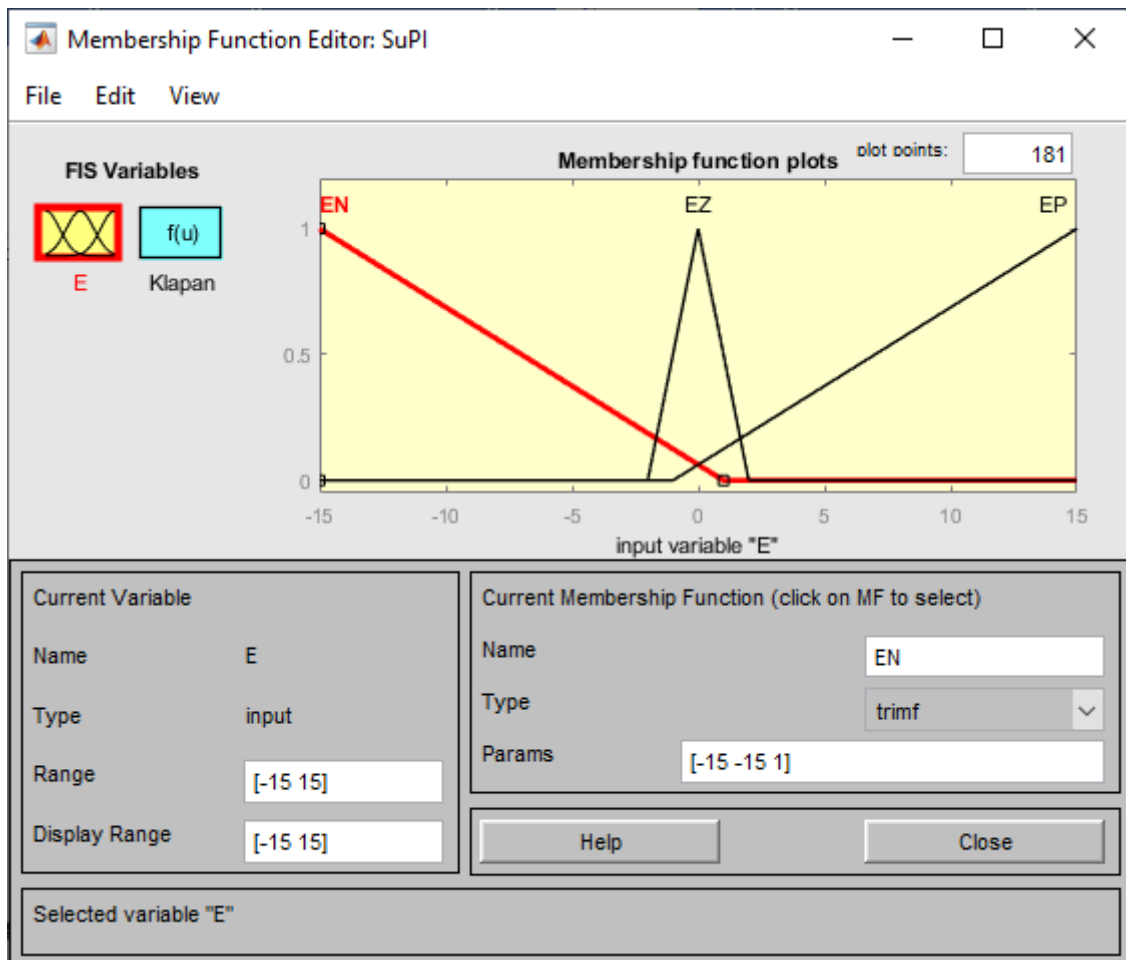


Рис. 4.12.1. Лінгвістична змінна EN.

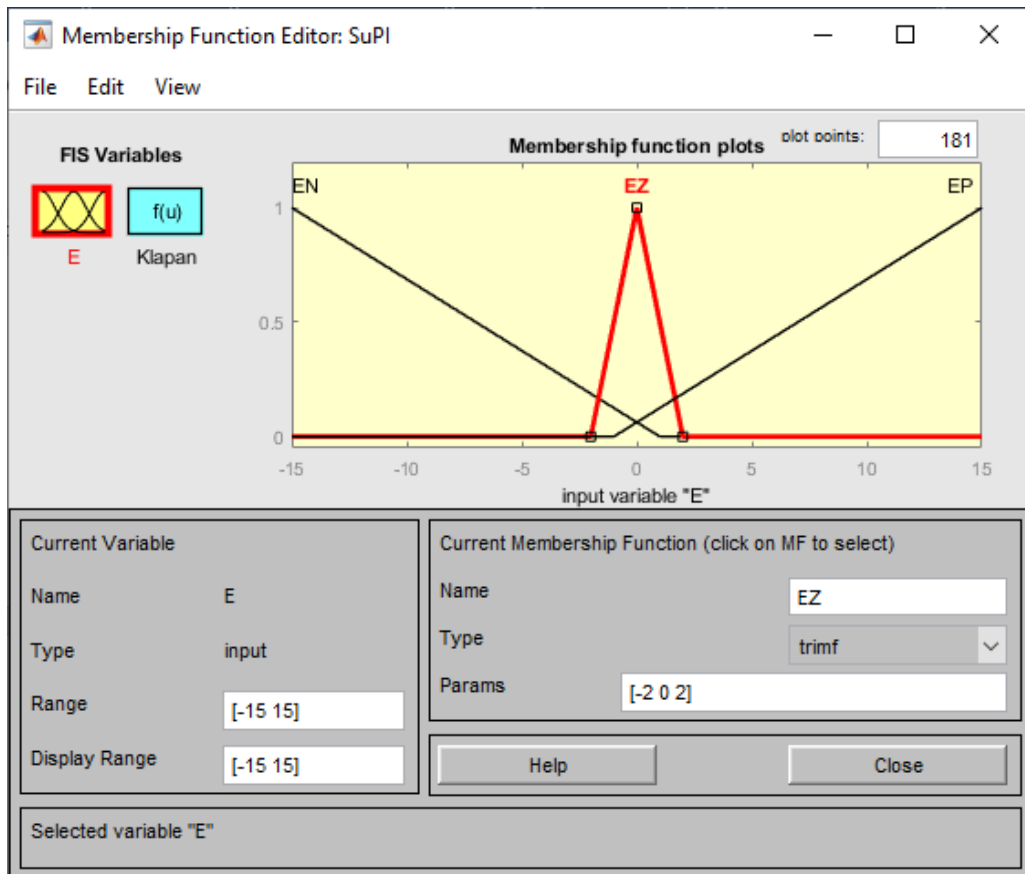


Рис. 4.12.2. Лінгвістична змінна EZ.

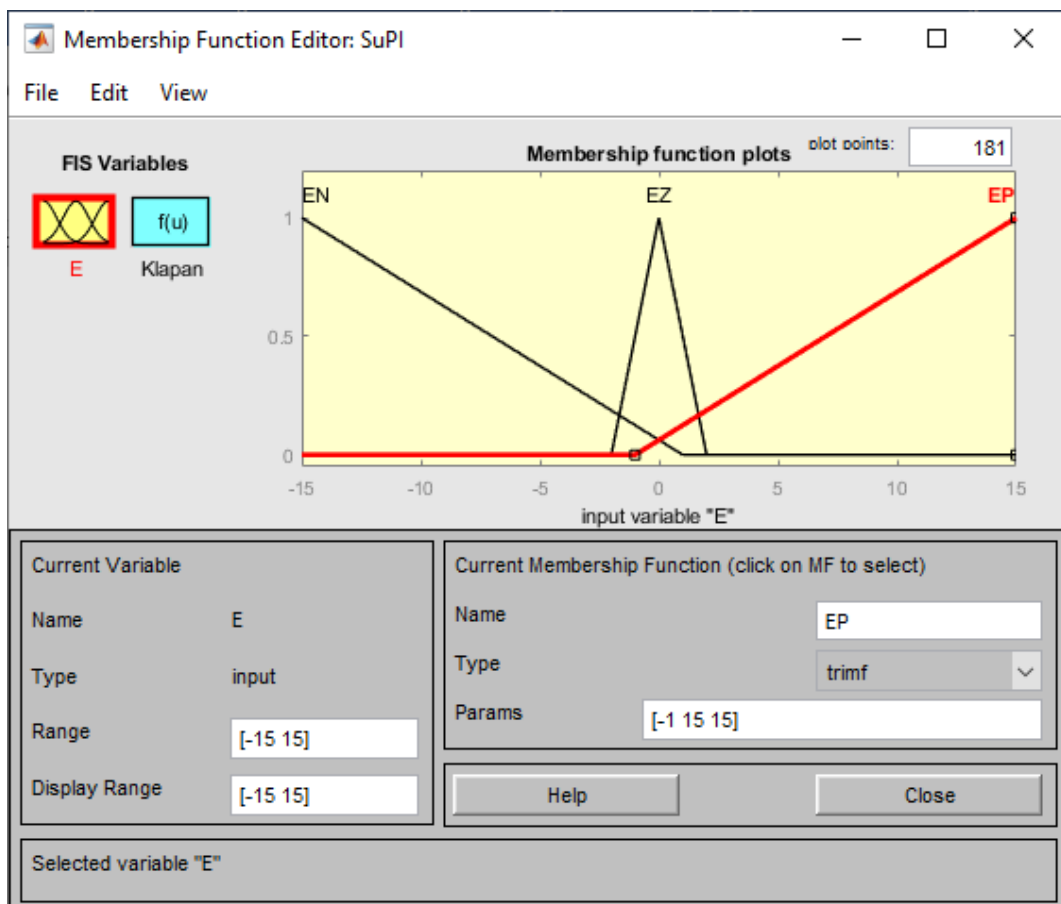


Рис. 4.12.3. Лінгвістична змінна EP.

Лінгвістична апроксимація для керуючої дії на виході регулятора описується константою. Використані назви змінних та значення константи:

- DecF – decrease flow – зменшити витрату пари, значення: 20; (рис. 4.13.1);
- NCF – not change flow – не змінювати витрату пари, значення: 36; (рис. 4.13.2);
- IncF – increase flow – збільшити витрату пари, значення: 100; (рис. 4.13.3).

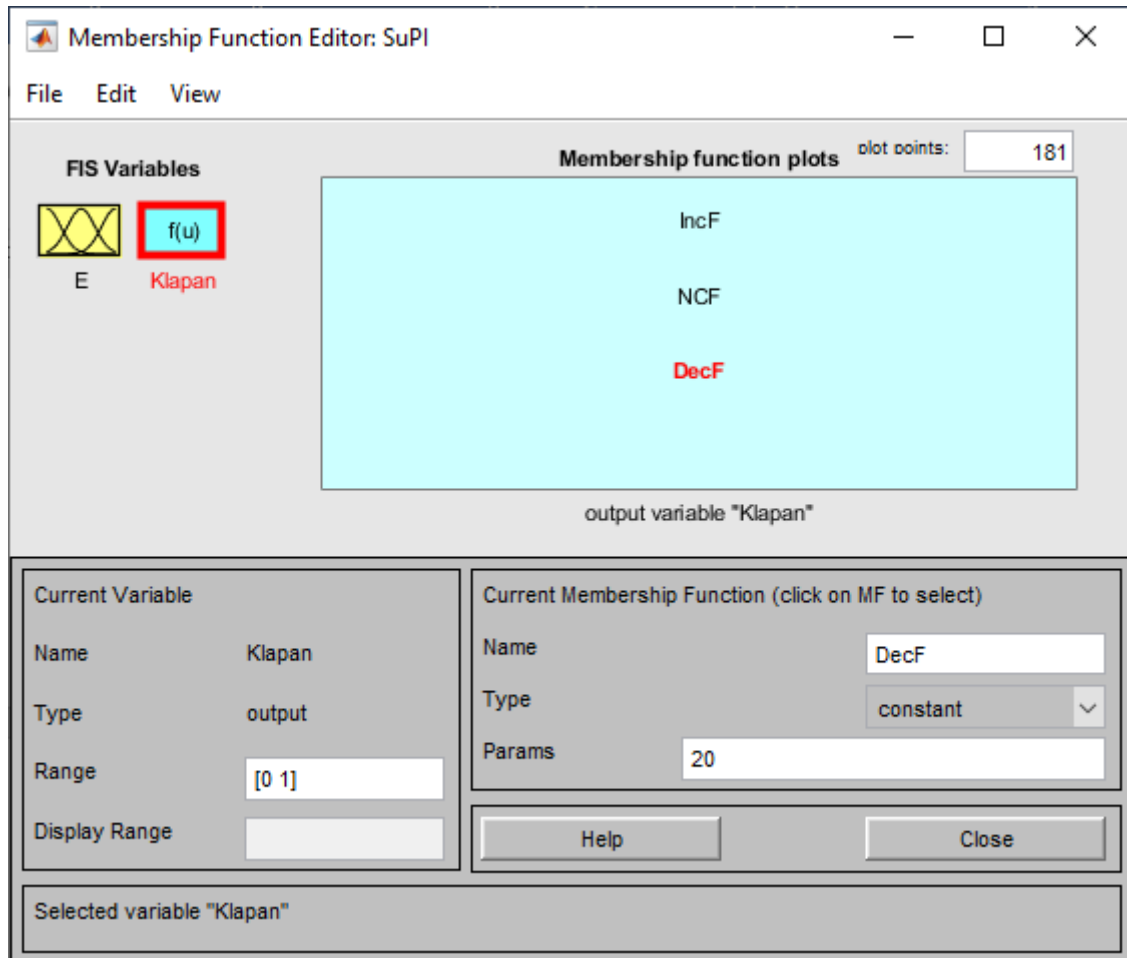


Рис. 4.13.1. Лінгвістична змінна DecF.

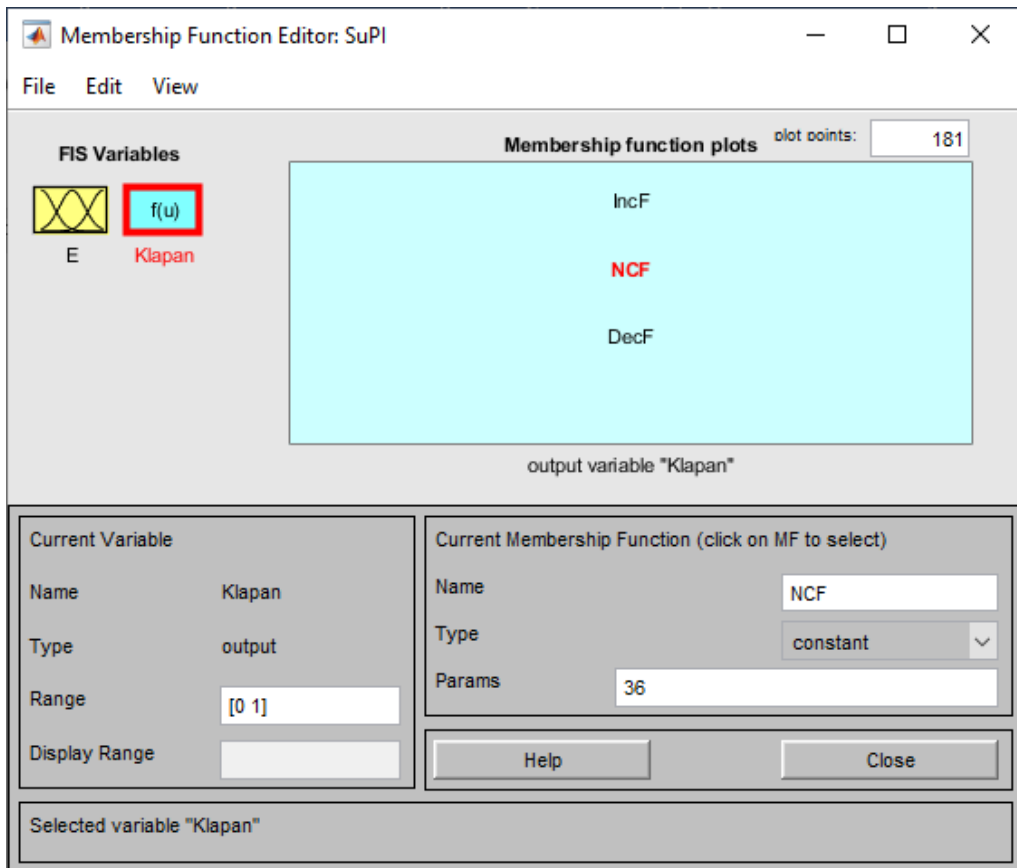


Рис. 4.13.2. Лінгвістична змінна NCF.

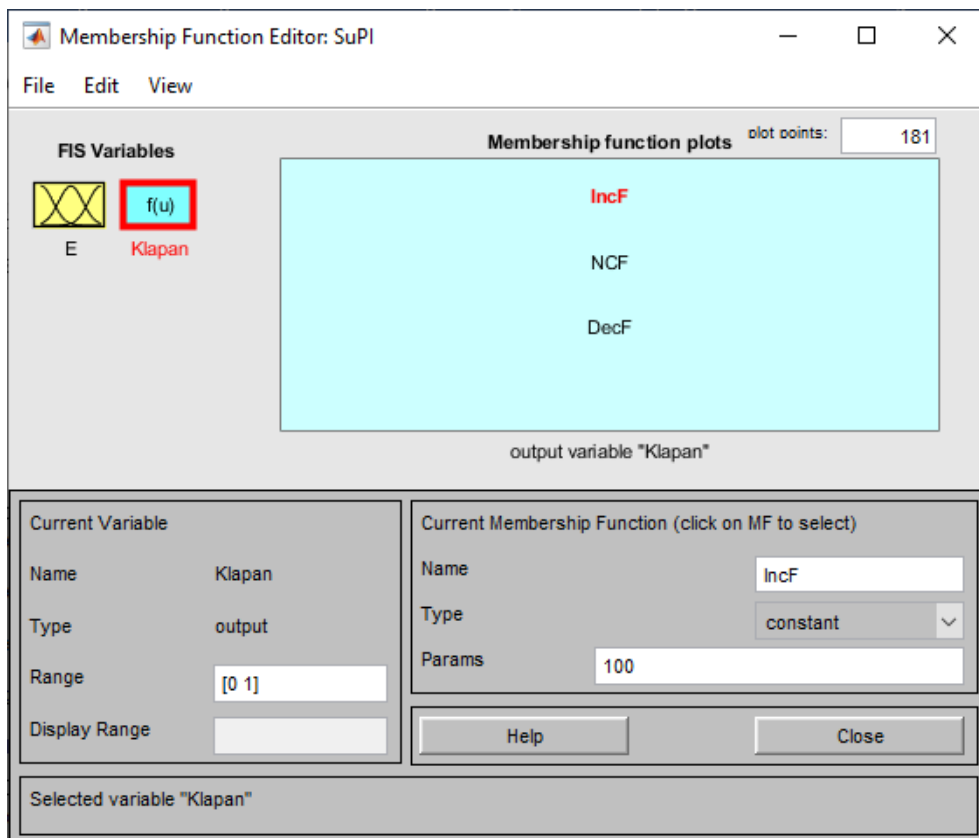


Рис. 4.13.3. Лінгвістична змінна IncF.

Нечіткий регулятор працює за наступними правилами, що вказано на рис.

4.14.

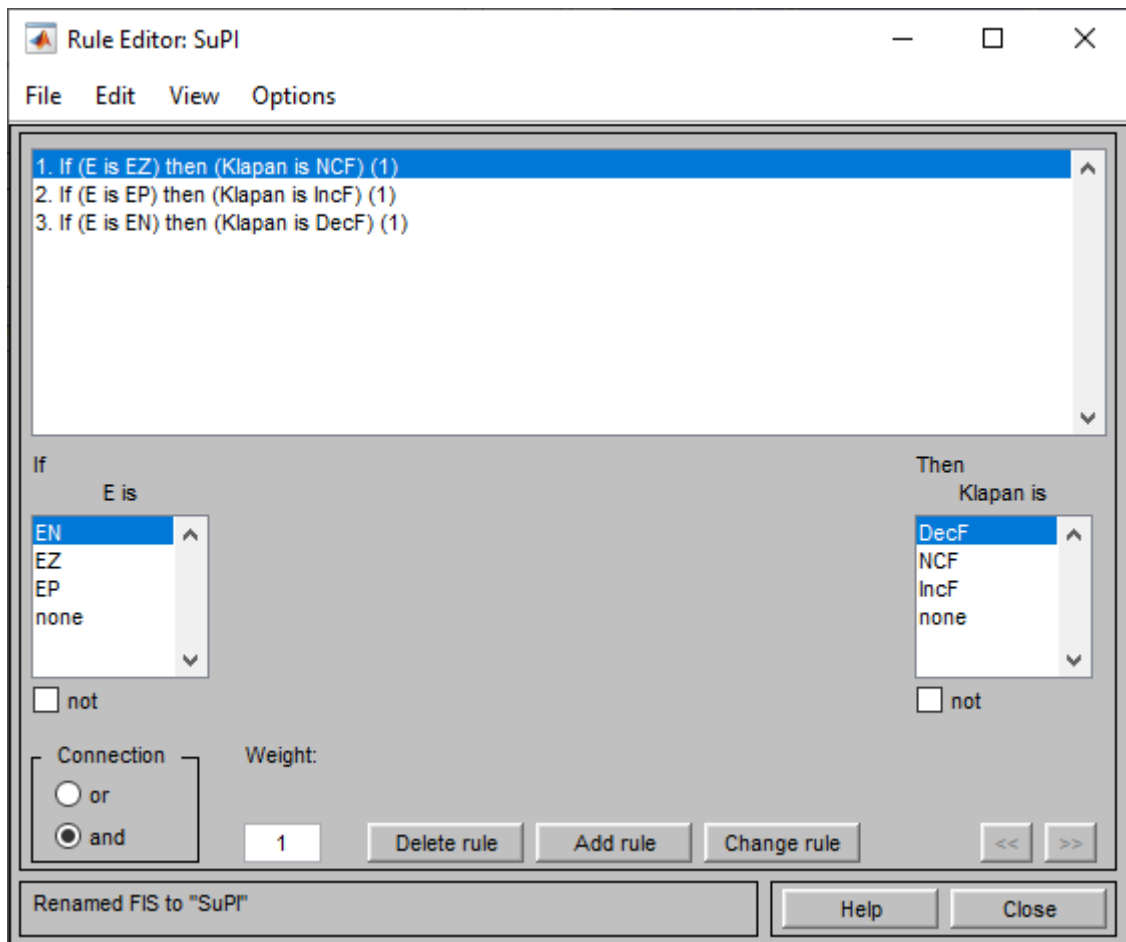


Рис. 4.14. База правил для нечіткого регулятора.

Модель підігрівача соку перед процесом другої сатурації представлена в пакеті Simulink програмного середовища MATLAB з використання нечіткого регулятора на рис. 4.15.

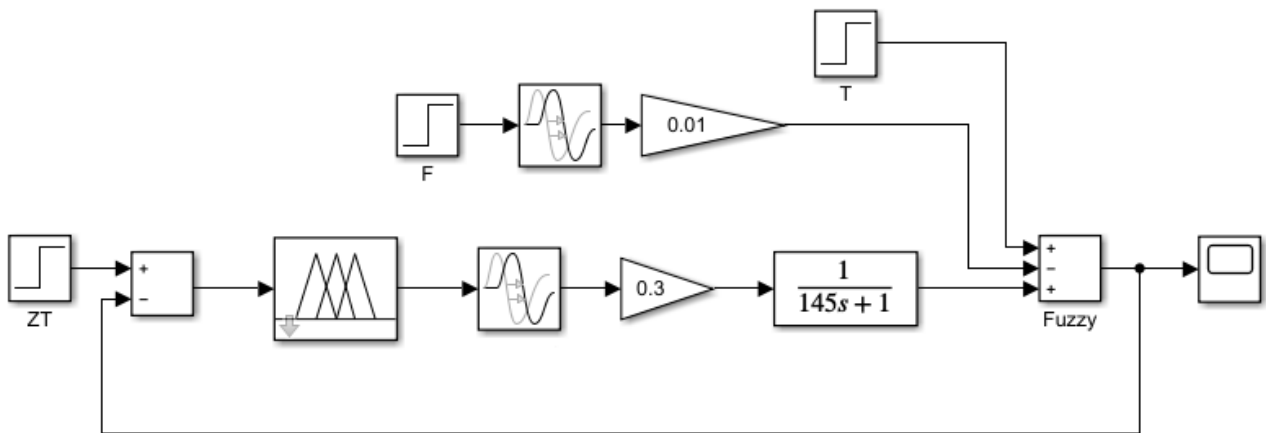


Рис. 4.15. Модель підігрівача з нечітким регулятором.

Перехідний процес регулювання температури соку в підігрівачі за допомогою нечіткого регулятора вказано на рис. 4.16.

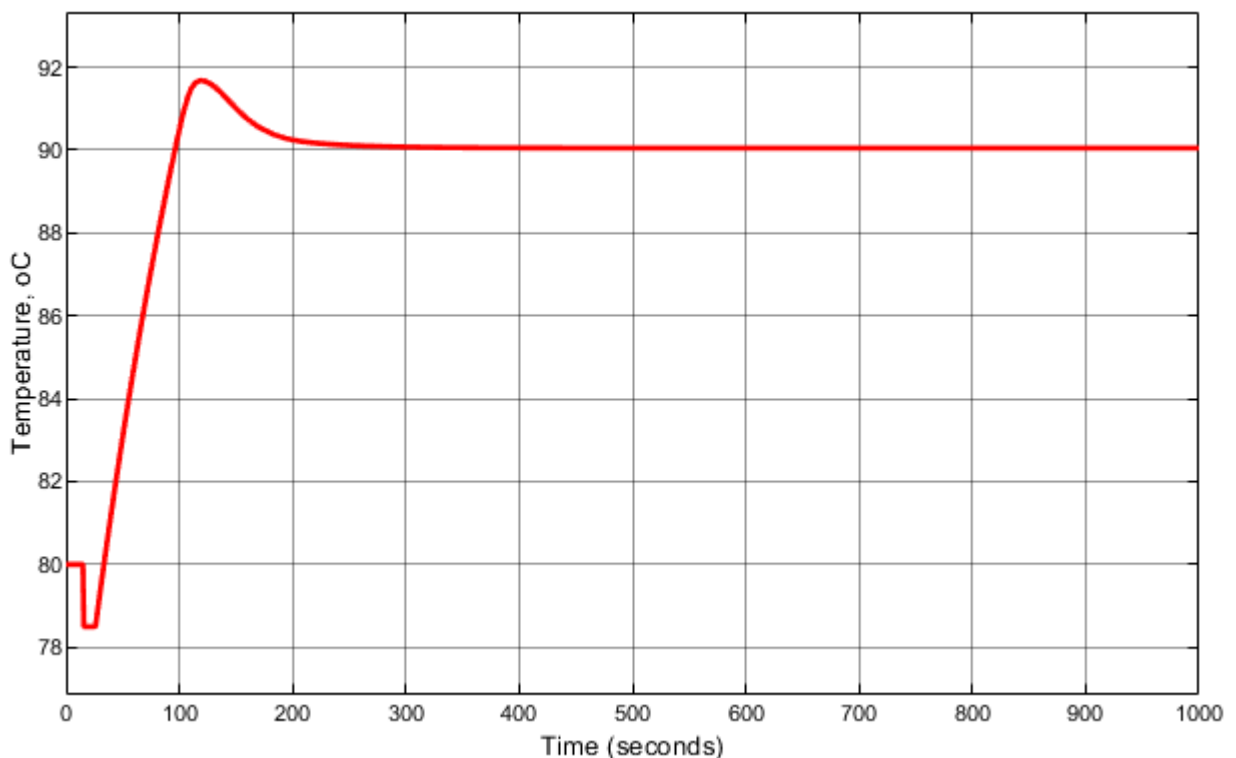


Рис. 4.16. Перехідний процес регулювання температури соку в підігрівачі нечітким регулятором.

На рис. 4.17 вказано порівняння перехідних процесів регулювання температури соку в підігрівачі при використанні ПІ-регулятора та нечіткого регулятора.

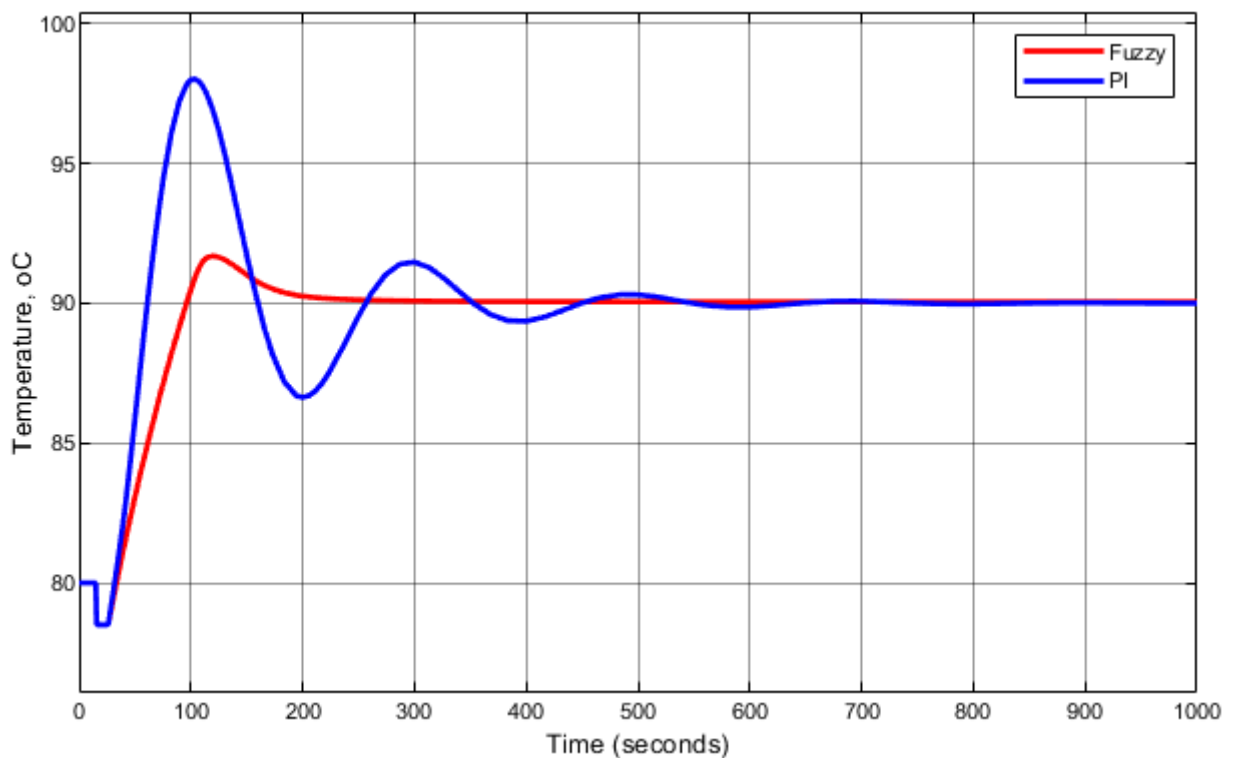


Рис. 4.17. Порівняння перехідних процесів регулювання ПІ-регулятора та нечіткого регулятора.

Отримані результати порівняння перехідних процесів регулювання температури соку в підігрівачі дають змогу зробити наступні висновки:

- Використання нечіткого регулятора призвело до зменшення динамічної похибки в порівнянні з перехідним процесом ПІ-регулятора.
- Застосування нечіткого регулятора призвело до зменшення часу перехідного процесу порівняно з часом перехідного процесу з ПІ-регулятором.

Висновки

У магістерській роботі проведено огляд технологічного процесу дефекосатурації та розглянуто існуючі рішення для автоматизації відділень дефекосатурації. Розроблена комп'ютерно-інтегрована система керування процесом дефекосатурації (KICK CAT) використовує новітні засоби автоматизації та може взаємодіяти з випарним відділенням цукрового заводу, інтегруючись в автоматизовану систему керування підприємством цукрового заводу.

Також розроблено комп'ютерно-інтегровану систему керування якістю процесу другої сатурації (KICKЯ CAT-II) з використанням нечіткої логіки для забезпечення оптимального проведення процесу другої сатурації при виробництві цукру.

Додатково, розроблено нечіткий регулятор для керування нагріванням соку в підігрівачі перед другою сатурацією з метою забезпечення оптимального процесу другої сатурації. Проведено порівняння отриманих перехідних процесів регулювання з використанням нечіткого регулятора та класичного ПІ-регулятора.

Список використаних джерел

1. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: навч. посібник / В.Г. Трегуб. – К.: Ліра-К, 2014.
2. Ельперін І.В. Промислові контролери: Навчальний посібник / І.В. Ельперін // К.: НУХТ. – 2003. – 320 с.
3. Ладанюк А.П. Автоматизація технологічних процесів та виробництв харчової промисловості: Підручник / Ладанюк А.П., Трегуб В.Г., Ельперін І.В., Цюцюра В.Д. // К.: Аграрна освіта. – 2001. – 224 с.
4. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах. Навчальний. посібник / Пупена О.М., Ельперін І.В., Луцька Н.М., Ладанюк А.П – К.: Видавництво Ліра-К., 2011. – 558с.
5. Решение для автоматизации участка сатурации сахарного производства. URL: <https://www.hlr.ua/storage/editor/files/d28da9075ce325c245a53df1a3cf210a.pdf>
6. Создание АСУТП сокоочистки на сахарном заводе. URL: <http://www.novoconcept-e.com.ua/projects/sugarbranch-cleaning/>
7. Industrial pH meter HP-480PL. URL: <https://asin.com.vn/media/lib/hp-480plinstructionmanual.pdf>
8. Термопреобразователи. URL: https://ao-tera.com/img/common/content/files/PDF/industrial_probes_pdf.pdf
9. Электромагнитный расходомер DMH. URL: <https://www.kobold.com/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%80-DMH>
10. Electromagnetic Flowmeter for conductive fluids. URL: <https://www.kobold.com/uploads/files/dmh-gb-flow.pdf>
11. Каталог СВ Альтера. URL: <https://www.svaltera.ua/catalog/>