

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет Автоматизації і комп'ютерних систем

Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем
управління

«До захисту в ЕК»

Декан факультету

Андрій ФОРСЮК

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Ярослав СМІТЮХ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«__» лютий 2024 р.

«__» лютий 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»

(код та назва спеціальності)

технології»

освітньо-професійної програми «Інтелектуальні комп'ютерні системи
керування»

на тему: Розробка інтелектуальної підсистеми оцінки якості процесу
виробництва ваннякового молока на цукровому заводі

Виконав: здобувач 2 курсу, групи АІ-2-1М

Олексенко Роман Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Луцька Наталія Миколаївна

(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

(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)

Київ – 2024 р.

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 «Інтелектуальні комп'ютерні системи керування»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ Ярослав СМІТЮХ

«__» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Олексенко Романа Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка інтелектуальної підсистеми оцінки якості процесу виробництва вапнякового молока на цукровому заводі _____

керівник роботи д.т.н. доцент Луцька Наталія Миколаївна

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “__” _____ 2023 року № _____

2. Строк подання здобувачем роботи “__” _____ 2024 року

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. Розділ 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. Розділ 2. Загальносистемні рішення. 2.1. Розробка системи

автоматизації керування процесом варіння сусла на пивзаводі. 2.1.1. Завдання

на розробку системи автоматизації. 2.1.2. Схема автоматизації керування

процесом варіння сусла на пивзаводі. 2.1.3. Специфікація приладів та засобів

автоматизації керування процесом варіння сусла на пивзаводі. 2.1.4. Проектне

компонування промислового логічного контролера (ПЛК). 2.1.5. Загальна схема підключення датчиків та ВМ до ПЛК. 2.2. Опис функцій, що інтелектуалізуються. 2.2.1. Розробка вимог до ІСК (Requirements diagram). 2.2.2. Визначення функцій користувачів (Use Case diagram). 2.2.3. Розробка блоків складових елементів системи (Block Definition Diagram). 2.2.4. Розробка алгоритмічного забезпечення ІСК. 2.2.4.1. Визначення життєвого циклу ІСК та її процесів (Activity diagram). 2.4.2. Вирішення проблеми синхронізації підсистем (Sequence diagram). Розділ 3. Розробка інтелектуальної підсистеми керування процесом варіння сусла на пивзаводі. 3.1. Побудова інтелектуальної підсистеми керування процесом варіння сусла (ППОЯ ВСУС) на пивзаводі. 3.2. Побудова нечіткого регулятора для регулювання температури кипіння сусла в суслварочному котлі. Висновки. Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Схема автоматизації. 2. Схеми підключення датчиків та ВМ до ПЛК.

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	Видача та затвердження завдання	Перед переддипломною практикою	
2	Розділ 1. Аналіз технології та існуючих АСК технологічним об'єктом	Захист переддипломної практики	
3	Розділ 2. Розробка схеми автоматизації та вибір технічних засобів автоматизації	3 тиждень	
4	Розділ 2. Схеми підключення датчиків та ВМ до ПЛК.	5 тиждень	
5	Розділ 2. Розробка діаграм на мові SysML функцій, що інтелектуалізуються	7 тиждень	
6	Розділ 3. Побудова інтелектуальної підсистеми оцінки якості процесом варіння сусла (ППОЯ ВСУС) на пивзаводі та нечіткого регулятора для регулювання температури кипіння сусла в суслварочному котлі	11 тиждень	

Здобувач _____
(підпис)

_____ Роман ОЛЕКСЕНКО

Керівник роботи _____
(підпис)

_____ Наталія ЛУЦЬКА

Анотація

У першому розділі магістерської роботи проводиться детальний огляд технології виробництва вапнякового молока на цукровому заводі та аналіз існуючих систем автоматизованого керування процесом виробництва вапнякового молока на цукровому заводі.

В другому розділі магістерської роботи приводиться: завдання на розробку системи автоматизації; опис схеми автоматизації та специфікація приладів та засобів автоматизації; компонування модулів ПЛК; опис функцій, що інтелектуалізуються за допомогою діаграм на мові SysML.

У третьому розділі магістерської роботи розглядається розробка інтелектуальної підсистеми для оцінки якості процесу виготовлення вапнякового молока на цукровому заводі. Також висвітлюється створення нечіткого регулятора, спрямованого на регулювання температури води в підігрівачі.

Ключові слова: вапнякове молоко, SysML, нечіткий регулятор, автоматизація.

Annotation

In the first chapter of the master's qualification work, an overview of the technology of condensed milk production is provided at a sugar factory, along with an analysis of existing automated systems for controlling the process of condensed milk production at the sugar factory.

In the second chapter of the master's qualification thesis, the following is outlined: objectives for the development of the automation system; description of the automation scheme and specification of automation devices and tools; assembly of PLC (Programmable Logic Controller) modules; description of functions intellectualized through SysML (Systems Modeling Language) diagrams.

In the third chapter of the master's qualification thesis, the construction of an intelligent subsystem for assessing the quality of the condensed milk production process at the sugar factory is discussed. Additionally, the development of a fuzzy controller for regulating the water temperature in the heater is addressed.

Keywords: lime milk, SysML, fuzzy regulator, automation.

Зміст

Вступ	6
Розділ 1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації та існуючих АСК.....	10
1.1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації.....	10
1.2. Аналіз існуючих АСК технологічним об'єктом.....	20
1.3. Постановка задачі кваліфікаційної роботи магістра.....	25
Розділ 2. Загальносистемні рішення.....	26
2.1. Розробка системи автоматизації керування процесом виробництва вапнякового молока на цукровому заводі.....	26
2.1.1. Завдання на розробку системи автоматизації.....	26
2.1.2. Схема автоматизації керування процесом виробництва вапнякового молока на цукровому заводі.....	27
2.1.3. Специфікація приладів та засобів автоматизації керування процесом виробництва вапнякового молока на цукровому заводі.....	29
2.1.4. Проектне компонування промислового логічного контролера (ПЛК).....	32
2.1.5. Загальна схема підключення датчиків та ВМ до ПЛК.....	37
2.2. Опис функцій, що інтелектуалізуються.....	38
2.2.1. Розробка вимог до ІСК (Requirements diagram).....	38
2.2.2. Визначення функцій користувачів (Use Case diagram).....	39
2.2.3. Розробка блоків складових елементів системи (Block Definition Diagram).....	40
2.2.4. Розробка алгоритмічного забезпечення ІСК.....	43
2.2.4.1. Визначення життєвого циклу ІСК та її процесів (Activity diagram).....	43
2.2.4.2. Вирішення проблеми синхронізації підсистем (Sequence diagram).....	45
Розділ 3. Розробка інтелектуальної підсистеми керування процесом виробництва вапнякового молока на цукровому заводі.....	47
3.1. Побудова інтелектуальної підсистеми керування процесом виробництва вапнякового молока (ШОЯ ВАП) на цукровому заводі.....	47
3.2. Побудова нечіткого регулятора для регулювання температури води в підігрівачу.....	62
Висновки	73
Список використаних джерел	74

Вступ

Вапнякове молоко відіграє ключову роль у процесі виробництва цукру, сприяючи видаленню нецукрів з дифузійного соку. Пошук оптимальної густини вапнякового молока має важливе значення, оскільки це дозволяє в ефективний спосіб вилучати більше нецукрів з дифузійного соку.

Збільшення кількості вилучених нецукрів з дифузійного соку є важливим кроком, оскільки це полегшує процес випарювання без ризику виникнення проблем на випарній станції. Нецукри, які присутні в дифузійному соку, можуть призводити до утворення накипу на нагрівальних елементах випарної станції. Це може суттєво знизити ефективність роботи випарної станції та збільшити витрати пари на процес випарювання, що в кінцевому підсумку призводить до зменшення рентабельності виробництва цукру. Таким чином, оптимізація використання вапнякового молока може відігравати критичну роль у покращенні ефективності та економії ресурсів у виробництві цукру.

Об'єктом дослідження є технологічний процес виробництва вапнякового молока на цукровому заводі.

Предметом дослідження є аналіз ділянки виробництва вапнякового молока на цукровому заводі з метою забезпечення отримання вапнякового молока оптимальної густини.

Мета наукового дослідження полягає в розробці системи автоматизації для процесу виробництва вапнякового молока на цукровому заводі. Ця система включає в себе інтелектуальну підсистему для оцінки якості процесу виробництва вапнякового молока та використовує передові засоби автоматизації.

Методологія досліджень спрямована на створення інтелектуальної підсистеми для оцінки якості процесу виробництва вапнякового молока, використовуючи нечітку логіку.

Наукова новизна даного дослідження виявляється у розробці системи автоматизації для процесу виробництва вапнякового молока на цукровому заводі. Особливість полягає у використанні інтелектуальної підсистеми для оцінки якості процесу виробництва вапнякового молока за допомогою нечіткої логіки. Також новаторство виявляється у детальному описі створення інтелектуальної підсистеми оцінки якості процесу за допомогою діаграм на мові SysML.

Актуальність дослідження обумовлена потребою в розробці системи автоматизації для виробництва вапнякового молока на цукровому заводі. Особливий акцент робиться на створенні інтелектуальної підсистеми, що оцінює якість процесу виробництва вапнякового молока. Це важливо для досягнення оптимальної густини вапнякового молока та зменшення вмісту нецукрів в дифузійному соці, що визначає актуальність даної проблеми.

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

1.1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації

Для очищення дифузійного соку від нецукрів широко використовується вапнякове молоко, яке отримують під час гасіння вапна, що утворюється в процесі випалу вапняку в вапнякових печах. Важливим етапом цього процесу є виділення газоподібного діоксиду вуглецю (вуглекислого газу), який, змішуючись з повітрям та продуктами згоряння палива, утворює сатураційний газ.

Вапняк представляє собою осадову гірську породу, сформовану в результаті відкладення раковин і скелетів простих морських тварин на дні древніх водойм. Цей матеріал має крупнокристалічну структуру, відрізняється високою щільністю, низькою пористістю та практично не вбирає вологу. Важливо, щоб вапняк не містив видимих інородних включень, таких як глина чи пісок, і мав білий колір з легким сірим і жовтуватим відтінками. Для випалу використовують шматки вапняку розміром 80-120 мм з масою 1-3 кг.

Деякі цукрові заводи використовують крейду замість вапняку. Крейда характеризується дрібнокристалічною структурою, високою пористістю та зниженою щільністю. Для випалу вапняку використовують високоякісне тверде паливо, таке як кокс або антрацит у фракціях розміром 40-80 мм, а іноді використовують природний газ чи мазут.

Паливо оцінюють по його теплотворної здатності. Так, теплотворна здатність коксу складає приблизно 28 МДж/кг, антрациту – 33 МДж/кг; мазуту топкового – 39 МДж/кг; природного газу – 36 МДж/м³. Теплотворна здатність умовного палива прийнята 29,3 МДж/кг (7000 ккал/кг).

Суміш вапняку і твердого палива, що подаються в піч в масовому співвідношенні 10:1, називають шихтою.

На рисунку 1.1. зображено одну зі схем для складування та підготовки шихти. Вагони з вапняком і вугіллям прибувають на завод та розміщуються на естакаді

24, після чого вони розвантажуються з обох боків за допомогою відкриття нижніх люків розвантаження.

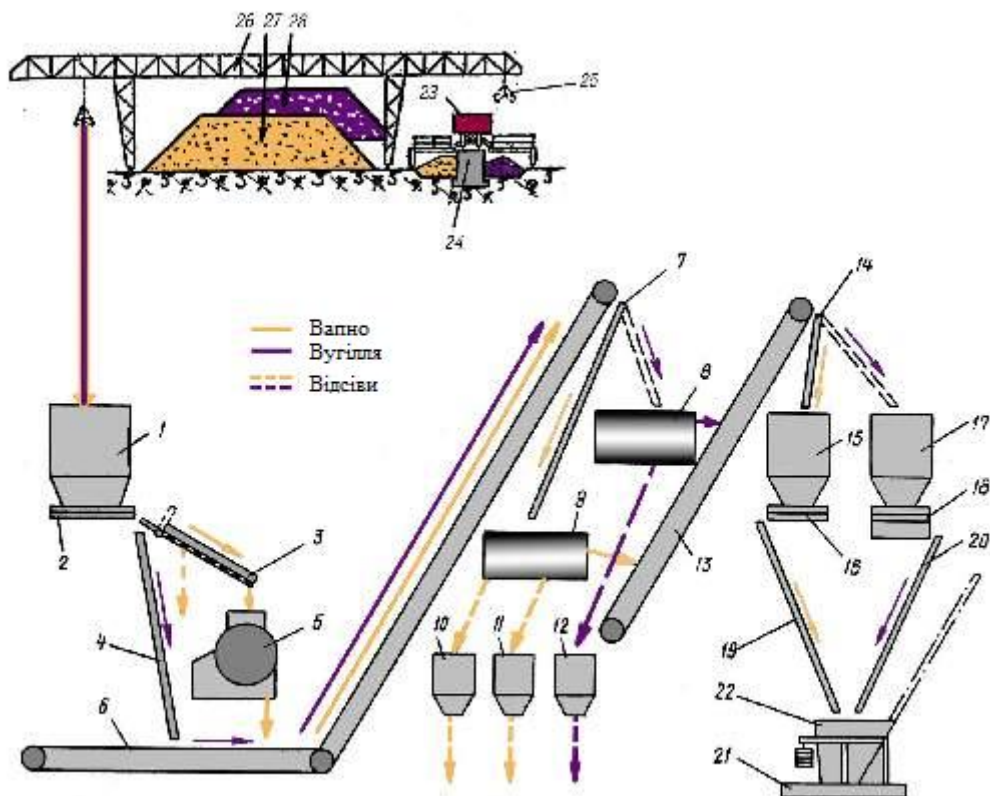


Рис 1.1. Схема складування та підготовки шихти.

Вивантажені вапняк і вугілля переносяться грейфером 25 і розміщуються в штабелі 27 і 28 після прибуття на завод, використовуючи рейкові шляхи козлового крана 26. З цих штабелів грейфер цього крана подає вапняк і вугілля в приймальний бункер 1 дробильно-сортувальної установки. Через бункер, вапняк подається лотковим живильником 2, проходить сортувальну ґрату 3 в дробарку 5. З дробарки, через стрічковий конвеєр 6 і перекидний жолоб 7, подрібнений вапняк потрапляє в барабанний гуркіт 9 з ситом двох діаметрів отворів.

Під гуркотом розташовані бункери 10 і 11 для відсіву дрібної і крупної фракцій вапняку. Відсортований вапняк потрібного розміру (в поперечному перерізі 80-120 мм) через стрічковий конвеєр 13 і перекидний жолоб 14 направляється в накопичувальний бункер 15. Звідси, пластинчастим живильником 16 через жолоб 19 і в ківш 22 підійомника вапнякової печі. Тут він

зважається автоматичним пристроєм 21, який автоматично зупиняє живильник 16 після наповнення ковша.

Після заповнення накопичувального бункера 15, система перемикається на підготовку вугілля. Вугілля подається в бункер 1, лотковим живильником 2 через жолоб 4 і потрапляє на стрічковий конвеєр 1.

Якщо потрібно використовувати вугілля для дроблення, то воно пропускається через решітку 3 в дробарку 5, а з неї - на стрічковий конвеєр 6. Цим конвеєром вугілля подається через перекидний жолоб 7 в барабанний гуркіт 8.

Під гуркотом встановлений бункер 12 відсіву дрібного вугілля. З гуркоти вугілля стрічковим конвеєром 13 через перекидний жолоб 14 потрапляє в накопичувальний бункер 17. Звідси живильником-дозатором 18 через жолоб 20 і в ківш 22 підйомника.

Вапнякова і вугільна дрібниця з бункерів 10, 11 і 12, які обладнані заслінками, вивозяться автомобільним або іншим транспортом. Місткість накопичувальних бункерів 15 та 17 дорівнює двозмінній роботі печі.

На рис 1.2. зображена схема виробництва вапняного молока і сатураційного газу.

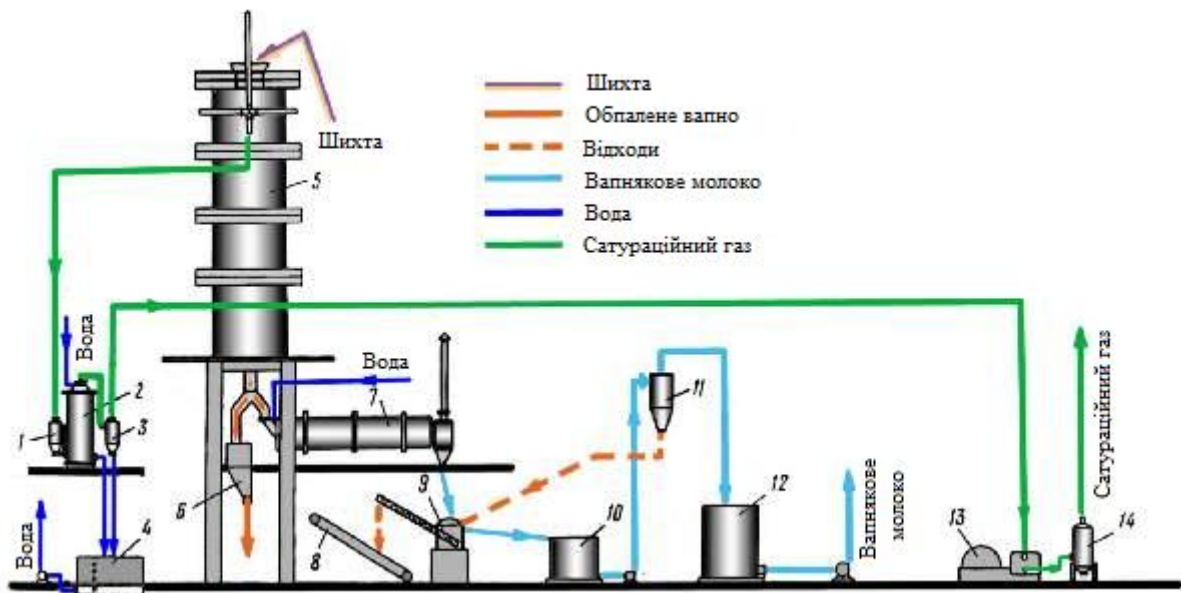


Рис 1.2. Схема виробництва вапнякового молока і сатураційного газу.

Шихта, завантажена в ковші скіповим підйомником, подається в піч 5, де під час згорання палива виробляється випал вапняку. Обпалене вапно вивантажується з нижньої частини печі і подається в апарат 7, де воно гаситься водою. Зайве обпалене вапно збирається в бункері 6 і пізніше вивозиться автотранспортом для зберігання.

Отримане в апараті для гасіння вапна 7 вапнякове молоко стікає в пісковловлювач 9, де воно очищається від домішок. Виловлений пісок, а також "голяк" і грудки вапна з апарату для гасіння вапна транспортером 8 направляються в бункер, з якого їх періодично вивозять автотранспортом. Вапнякове молоко з пісковловлювача збирається в мішалці 10, звідки насосами подається в гідравлічні циклони 11 для остаточного очищення від піску. Потім вапнякове молоко потрапляє в мішалку 12, де йому додається необхідна щільність. Після цього вапнякове молоко перекачується насосами в мішалку дифузійного відділення.

Шахтні печі, які використовуються для випалу вапняку (рис. 1.3 і 1.4), мають вертикальну циліндричну шахту висотою до 18 м і діаметром до 5 м. Стінки шахти 8 облицьовані вогнетривкою цеглою, а за ним йде теплоізоляційний шар з шамотного порошку і будівельної цегли. Зовні піч

обтягнута сталевим кожухом, а у шахті є вікна 9 для спостереження за процесом випалу.

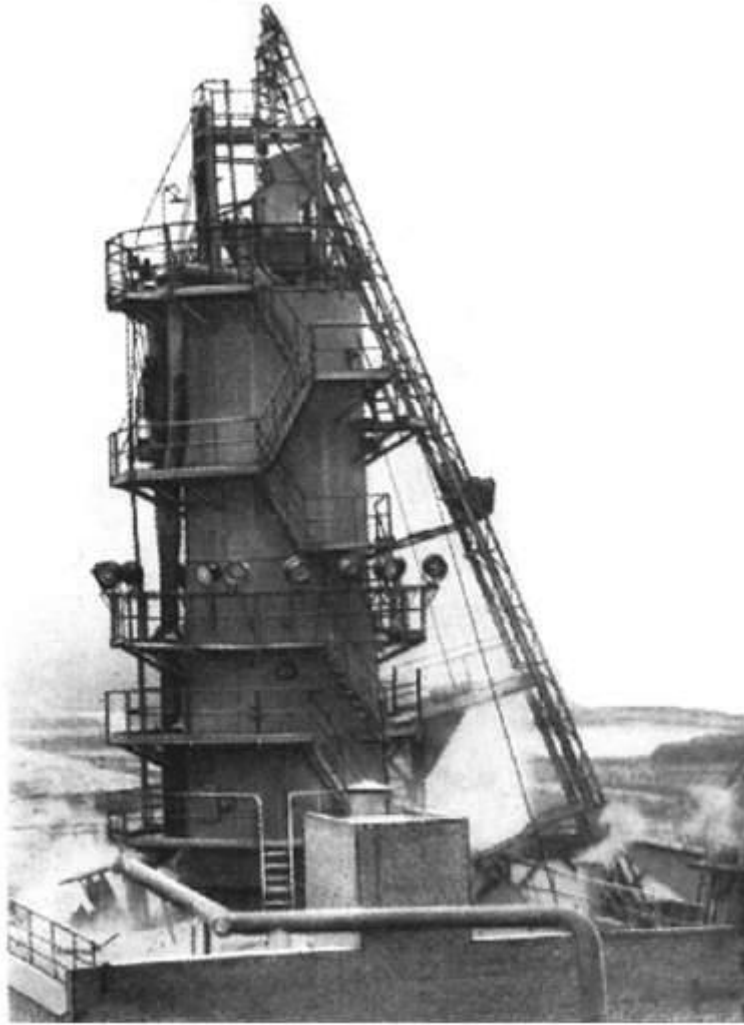


Рис. 1.3. Зовнішній вигляд шахтної печі.

Подача вапняку і палива в піч відбувається за допомогою механізованого пристрою – підйомника. З бункерів вапняку і палива вони подаються

живильниками в ківш 2 підіймника 1. Після наповнення ківш піднімається вгору по напрямних, використовуючи лебідку, і розвантажується в завантажувальний пристрій печі. Завантажувальний пристрій може бути в основному складений з бункера 3 і дзвона 4, який закриває вхідний отвір 5 в піч. Дзвін обладнаний контрвагою 7.

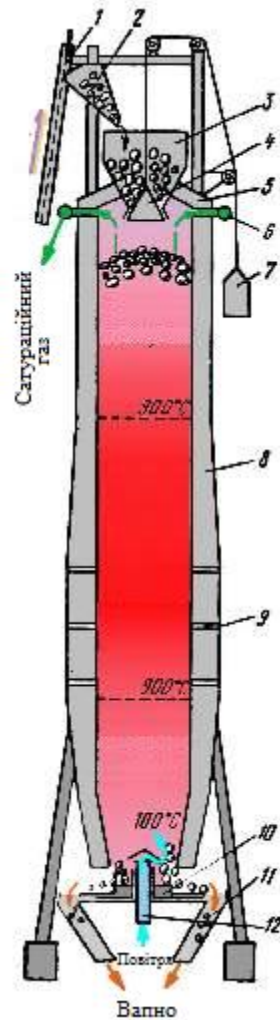


Рис. 1.3. Схема вапнякової печі.

Вивантаження обпаленого вапна здійснюється за допомогою спеціального пристрою, який складається з чотирьох сходових кареток, що рухаються в зворотно-поступальному напрямку. Під час руху вперед каретка

переміщує шматки вапна, які поступово доходять до кінця каретки і падають в коробку, а з неї на транспортер. Каретки розташовані під кутом одна до одної. Швидкість руху кареток (а, отже, кількість вивантаженого вапна) може бути змінена за допомогою ступеневого шківів або редуктора.

Повітря для горіння поступає в нижню частину печі через канал, а газоподібні продукти горіння (сатураційний газ) відсмоктуються з верхньої частини печі через газовий колектор за допомогою газового насосу.

Піч для випалу вапняку поділена на три температурні зони. Перша зона - це зона підігріву з температурою до 900 °С, де шихта підігрівається газоподібними продуктами горіння. Друга зона, відома як зона випалу або розкладання, має температуру від 900 до 1200 °С. Третя зона - зона охолодження - розпочинається від температури 900 °С і закінчується вивантажувальним отвором, де температура вапна становить 50-100 °С.

Зазвичай час перебування вапняку в печі складає 24 години. Після проходження всіх температурних зон, обпалене вапно, представлене виготовленим CaO, можна облити водою. Реакція гасіння вапна призводить до утворення гашеного вапна.

У цукровій промисловості готують вапнякове молоко - суспензію гідроксиду кальцію з густиною 1,2 г/см³. Це вапнякове молоко використовується для нейтралізації кислих компонентів та регулювання рН в процесах виробництва.

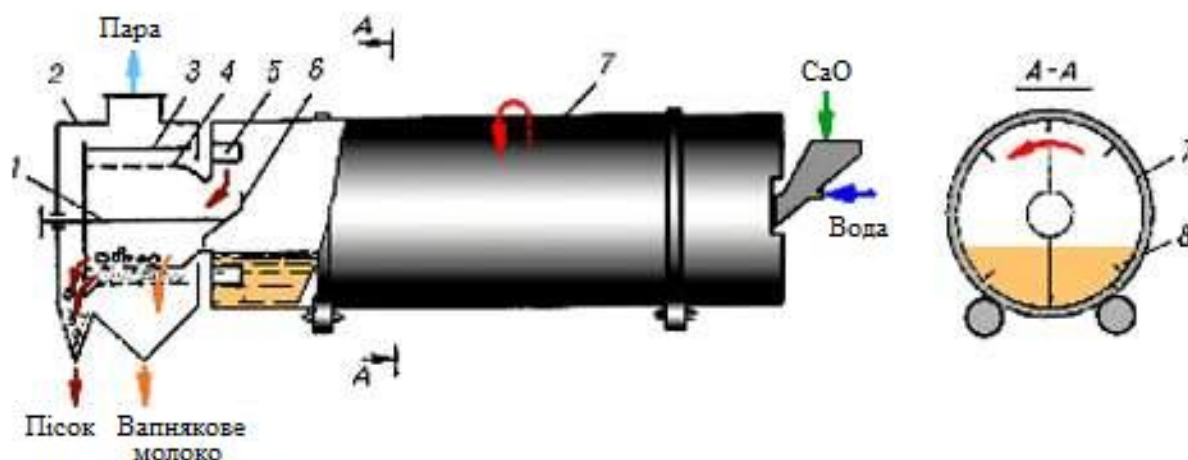


Рис. 1.4. Схема апарату для гасіння вапна.

Лоток 6 закріпленений на штанзі 1, рух якої можна змінювати для регулювання положення лотка в просторі, тим самим контролюючи кількість вапнякового молока, яке потрапляє в розвантажувальний пристрій через кишені барабана.

Вапнякове молоко проходить через сита обох циліндрів і виводиться в пісковловлювач, а залишкові домішки, які залишилися в циліндрах 4 і пройшли в циліндр 3, виводяться стрічками шнеків в бункер відходів.

Утворений під час гасіння вапна пар виводиться з кожуха 2 в атмосферу. Процес гасіння вапна зазвичай триває від 10 до 20 хвилин.

Для відокремлення піску та інших домішок від вапнякового молока та подальшого гасіння дрібних частинок непогашеного вапна (процес відомий як "дозрівання" вапнякового молока), використовується пісковловлювач.

Пісковловлювач (рис. 1.5) представляє собою наполовину циліндричне корито 2, розділене поперечними перегородками 3 на 8-10 секцій. По центру проходить вал з подовженими перекидними черпаками 1 (по одному на кожен секцію). З одного боку корита встановлений привід вала, а з іншого, перпендикулярно до осі корита, розміщений нахилений шнек 5 для виведення піску.

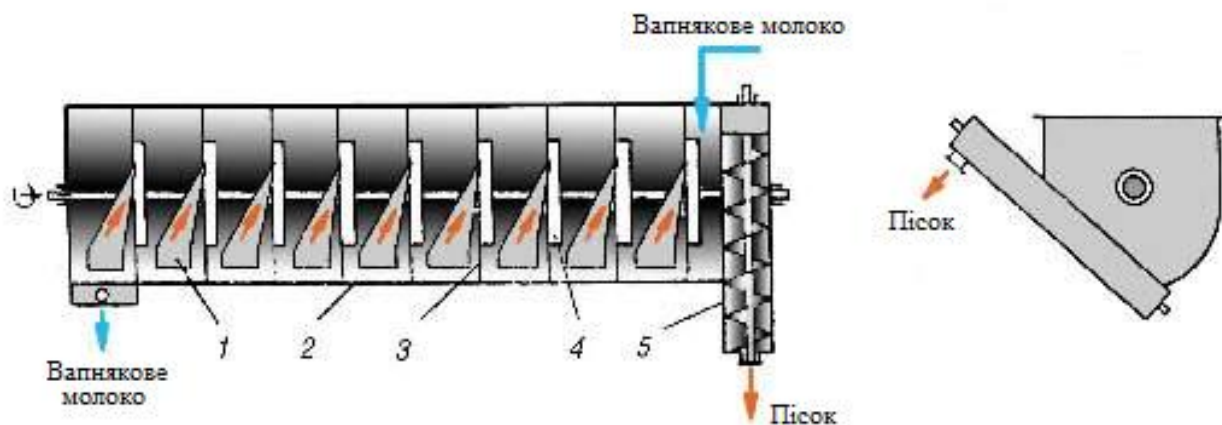


Рис. 1.5. Схема пісковловлювача.

Вапнякове молоко потрапляє до першої секції апарату і повільно просочується по кориту, переливаючись через краї перегоронок. Пісок відкладається на дно секцій, піднімається черпаками і перекидується через спеціальні кишені 4 в сусідні секції проти напрямку руху вапнякового молока. Пісок опускається на дно без турбулентності в молоці. Таким чином, пісок послідовно передається від секції до секції до шнека. Витки шнека забирають його з дна першої секції і вивозять на транспортер.

Після пісковловлювача вапнякове молоко проходить додаткове очищення в гідравлічних циклонах - закритих вертикальних конічних посудинах. У верхній частині гідравлічного циклона за допомогою тиску вапнякове молоко подається по дотичній до стінки посудини. Усередині посудини воно отримує обертальний рух: важкі домішки відкидаються відцентровою силою на бічні стінки і сповзають вниз до вихідного патрубку, а вапнякове молоко витісняється до центру і виводиться в мішалку-збірник через центральну трубу у верхній кришці.

1.2. Аналіз існуючих АСК технологічним об'єктом.

Система автоматизації вапнякового відділення, фірма ООО "TISER"

Система автоматизації здійснює комплексне управління циклічними та безперервними технологічними процесами і приводить до досягнення позитивного техніко-економічного ефекту, особливо при модернізації обладнання на допоміжних технологічних ділянках:

1. Підготовка, очищення та зважування вапняку і коксу:
 - автоматизовані процеси для ефективної підготовки сировини.
 - системи вагового контролю для точного зважування матеріалів.
 - оптимізовані методи очищення та підготовки вапняку і коксу.
2. Змішування вапняку і коксу перед завантаженням в піч:

- Автоматизовані системи для регулювання співвідношення вапняку і коксу.

- Контроль за процесом змішування для забезпечення однорідності шихти.

3. Ділянка завантаження печі:

- Автоматизовані механізми для точного та ефективного завантаження матеріалів в піч.

- Системи контролю, що забезпечують безперервний процес завантаження.

4. Ділянка розподілу шихти:

- Автоматизовані системи для розподілу шихти з точністю і швидкістю.

- Контроль за рівномірністю розподілу матеріалів у печі.

5. Ділянка охолодження і очищення пічного газу:

- Автоматичні системи охолодження газів з метою зменшення температури.

- Системи очищення для вилучення шкідливих речовин і забруднень з пічного газу.

Ці автоматизовані процеси сприяють підвищенню ефективності виробництва, зменшенню витрат сировини та енергії, а також покращенню якості та стабільності технологічних процесів.

Система включає в себе САУ вапняково-обпалювальної печі з додаванням ділянки автоматизації вапняного і газового відділення, забезпечує повний контроль і управління всіма ділянками вапняково-газового відділення цукрового заводу. САУ дозволяє зробити і безперебійно видати для заводу вапнякове молоко і сатураційний газ необхідної концентрації.

САУ умовно поділяється на такі підсистеми:

- управління підготовкою та завантаженням шихти в піч;

- управління вивантаженням печі і виробництвом вапнякового молока;
- управління газовим господарством і підготовка сатураційного газу заданої концентрації.

Після модернізації вапняково-обпалювальної печі ми гарантуємо:

- номінальну продуктивність печі до 10-16 т 85% СаО/м² на добу;
- вміст СО₂ в пічному газі – не менше 35%;
- витрату коксу до маси вапняку – в інтервалі 6.7-7.5 %;
- температуру газу на виході з печі – не більше 100 °С;
- температуру вапна на виході з печі – не більше ніж на 20 °С вище температури навколишнього повітря;
- час гасіння вапна до 5 хв. – при досягненні температури гасіння 80 °С;
- кількість планового недопалу – до 5% до маси вапняку [22].

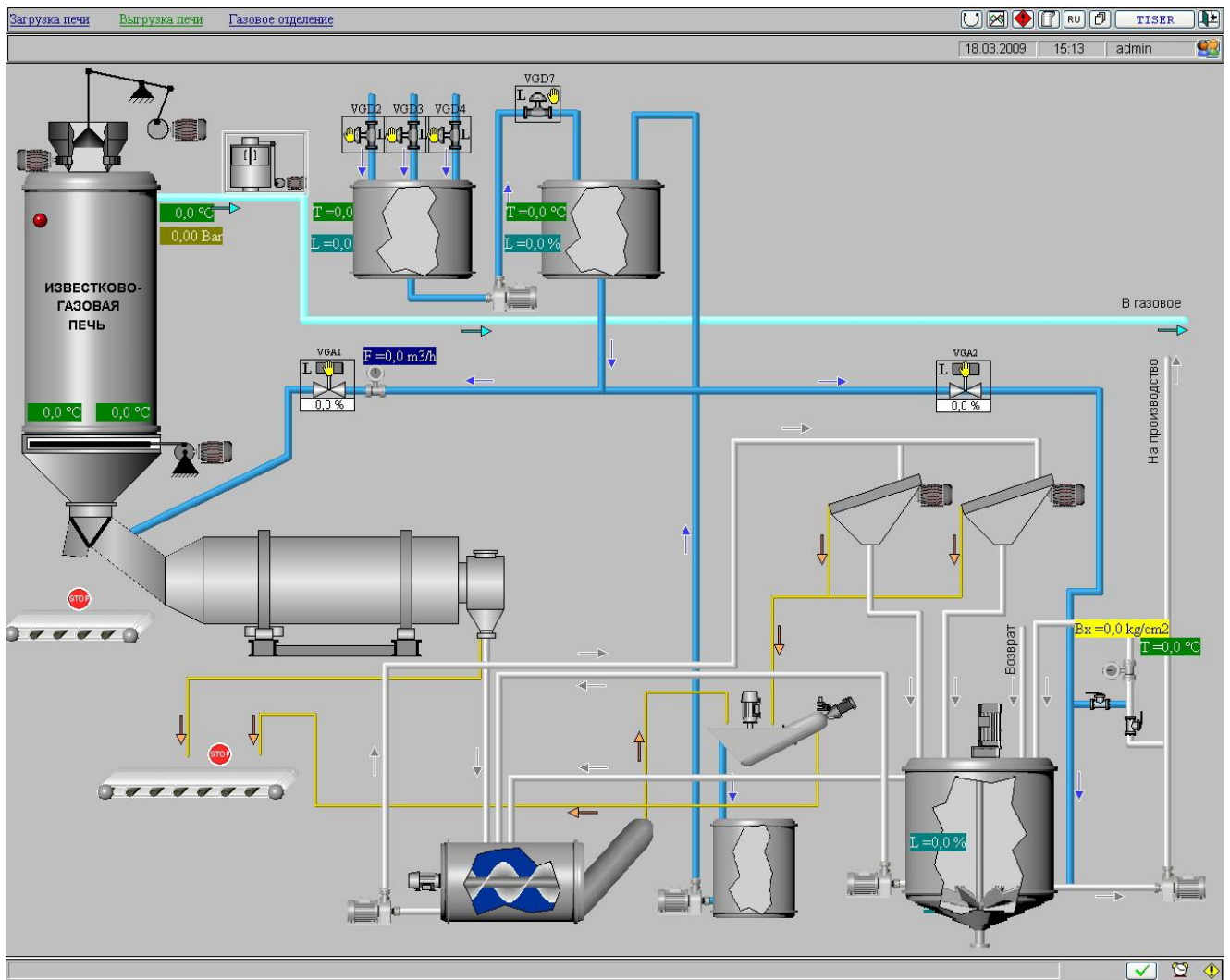


Рис. 1.7. Мнемосхема вапнякового відділення, фірма ООО "TISER".

**Система автоматизації вапнякового відділення, виробнича група
«Техінсервіс»**

У 2012 році виробнича група "Техінсервіс" провела реконструкцію Гайсинського цукрового заводу, ПК "Зоря Поділля", з метою збільшення його продуктивності з 6000 тонн буряка на добу до 8000 тонн буряка на добу та зниження питомих витрат пари на виробництво до 28,5% від маси буряка.

У ході модернізації також було реконструйовано та повністю автоматизовано вапнякове відділення.

З метою забезпечення роботи заводу на виробничому обсязі 8000 тонн буряка на добу була також виконана реконструкція вапняково-обпалювальної печі №2.

Ці заходи дозволили знизити витрати вапнякового каменю до 3,1% від маси буряка на виробництво.

Результатами модернізації Гайсинського цукрового заводу стали покращення ефективності виробничих процесів та збільшення його загальної продуктивності.

Параметр	Одиниця вимірювання	
Потужність заводу	т буряку/добу	8000
Витрата умовного палива до маси буряку	%	2,8
Витрата умовного палива до маси цукру	%	20,1
Витрата пари на виробництво	т/год.	89
Мутність товарного цукру	ісумса	8
Кольоровість товарного цукру	ісумса	0,48
Середній розмір гранул цукру	мм	0,79
Витрата вапнякового каменю на виробництво	% до маси буряка	3,1

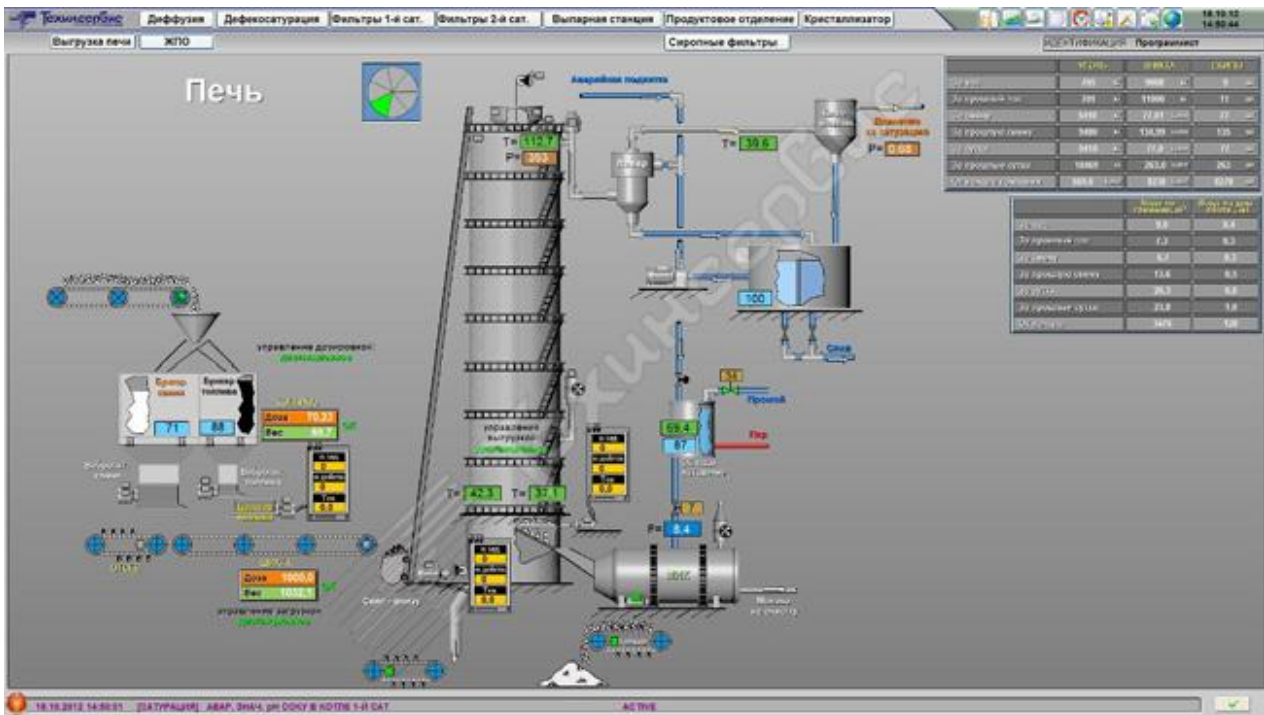


Рис. 1.8. Мнемосхема вапнякового відділення.

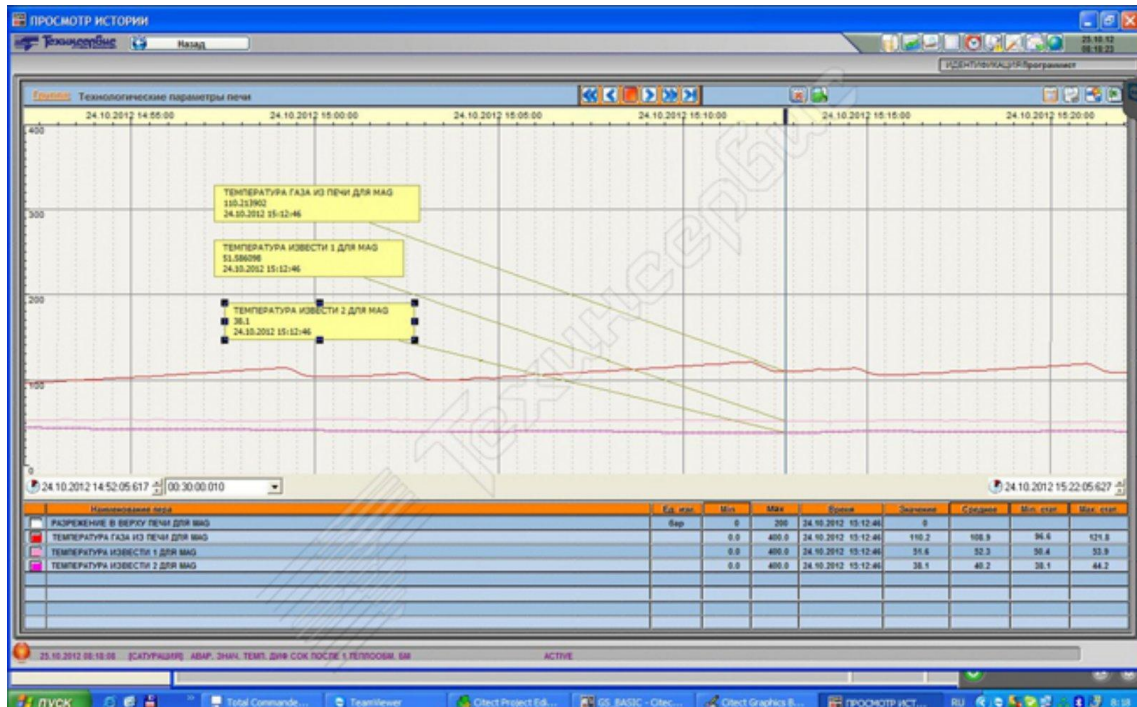


Рис. 1.8. Тренды вапнякового відділення.

1.3. Постановка задачі кваліфікаційної роботи магістра

Метою даної кваліфікаційної роботи магістра є розробка системи автоматизації процесу виробництва вапнякового молока на цукровому заводі, використовуючи передові технології та інтелектуальні засоби автоматизації. Ключовою задачею цієї роботи є створення автоматизованої системи керування виробництвом вапнякового молока, що включає інтелектуальну підсистему оцінки якості процесу виробництва (ШОЯ ВАП). Ця підсистема призначена для надання оператору актуальної інформації про якість проходження процесу виробництва вапнякового молока.

Додатково, у кваліфікаційній роботі магістра вирішується завдання порівняння класичних методів регулювання та методів, заснованих на нечіткій логіці, для керування температурою підігріву води, яка подається до апарату для гасіння вапна. Це включає в себе дослідження та аналіз ефективності обох підходів до регулювання температури, що може значно вплинути на ефективність процесу гасіння та якість виробленого вапнякового молока.

Отже, дана робота спрямована на створення інтегрованої та ефективної системи автоматизації, що підвищить продуктивність та якість виробництва вапнякового молока на цукровому заводі.

Розділ 2. Загальносистемні рішення

2.1. Розробка системи автоматизації керування процесом виробництва вапнякового молока на цукровому заводі

2.1.1. Завдання на розробку системи автоматизації

Завдання на розробку системи автоматизації керування процесом виробництва вапнякового молока на цукровому заводі представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Завдання на розробку системи автоматизації.

№ №	Машина, агрегат, установка	Параметр, місце відбору сигналу	Припус- тимо значення параметра	Вид автомати- зації	Характер контролю чи управління	Засоби управління та контролю, реалізації управляючої дії	Додаткові умови
1	Трубопро- від	Витрата води	40 м ³ /год	Контроль	Стабілізація	Вплив на клапан подачі води	
		Густина вапняко- вого молока	1,2 г/см ³	Контроль	Відобра- ження, реєстрація, сигналізація	АРМ оператора	Інтелек- туальна підсистема оцінки якості
		Двигун М4	Вкл/Викл	Управлі- ння	Стан	Вплив на стан роботи насоса	
		Двигун М5	Вкл/Викл	Управлі- ння	Стан	Вплив на стан роботи насоса	
2	Підігрівач	Рівень	90 %	Регулюва- ння	Стабілізація	Вплив на клапан подачі води	
		Температу- ра	70 °С	Регулюва- ння	Стабілізація	Вплив на клапан подачі пари	Нечіткий регулятор
3	Апарат для гасіння вапна	Двигун М1	Вкл/Викл	Управлі- ння	Стан	Вплив на стан роботи двигуна	
4	Пісковлов- лювач	Двигун М2	Вкл/Викл	Управлі- ння	Стан	Вплив на стан роботи двигуна	
5	Гідрав- лічний циклон	Двигун М3	Вкл/Викл	Управлі- ння	Стан	Вплив на стан роботи двигуна	

2.1.2. Схема автоматизації керування процесом виробництва вапнякового молока на цукровому заводі

Функціональна схема автоматизації керування процесом виробництва вапнякового молока на цукровому заводі включає в себе контроль густини вапнякового молока, регулювання витрати води, керування температурою підігріву води, регулювання рівня води в підігрівачі та управління двигунами і насосами.

Температура води в підігрівачі регулюється за допомогою пари, подаваної пневматичним клапаном ADCATrol PV16G (поз. 1в). Сигнал управління від ПЛК передається до електропневматичного перетворювача ASCON TECNOLOGIC EPC30 (поз. 1б), який керує пневматичним клапаном. Температура підігрітої води вимірюється датчиком KOBOLD MWD (поз. 1а).

Витрата води в апарат гасіння вапна регулюється пневматичним клапаном ADCATrol PV16G (поз. 2в), який подає воду з підігрівача. Сигнал управління від ПЛК подається до електропневматичного перетворювача ASCON TECNOLOGIC EPC30 (поз. 2б), що керує пневматичним клапаном. Витрата води в апарат гасіння вапна вимірюється турбінним рівнеміром KOBOLD NMC (поз. 2а).

Рівень води в підігрівачі регулюється пневматичним клапаном ADCATrol PV16G (поз. 3в), який подає воду в підігрівач. Сигнал управління від ПЛК передається до електропневматичного перетворювача ASCON TECNOLOGIC EPC30 (поз. 3б), що керує пневматичним клапаном. Рівень води в підігрівачі вимірюється ємнісним рівнеміром KOBOLD NMC (поз. 3а).

Контроль густини вапнякового молока в трубопроводі на виході з апарата гасіння вапна вимірюється густиноміром SMAR DT301 (поз. 4а).

Магнітні пускачі KM1-KM5 керують двигунами M1-M3 та насосами M4-M5. Перемикачами SA1-SA5 можливо вибрати ручний або автоматичний режим управління. У ручному режимі двигуни та насоси керуються кнопочними станціями SB2, SB4, SB6, SB8, SB10. У автоматичному режимі двигуни та насоси керуються сигналами від ПЛК. Для екстреної зупинки двигунів є кнопки SB1, SB3, SB5, SB7, SB9.

2.1.3. Специфікація приладів та засобів автоматизації керування процесом виробництва вапнякового молока на цукровому заводі

Специфікація приладів та засобів автоматизації керування процесом виробництва вапнякового молока на цукровому заводі приведена в таблиці 2.2.

Таблиця. 2.2. Специфікація приладів та засобів автоматизації.

Поз.	Найменування та технічна характеристика засобу	Тип, марка, позначення документу, листа опитування	Код обладнання, виробу, матеріалу	Завод-виготовлювач/виробник	Одиниця виміру	Кількість	Маса одиниці, кг	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1а	Термометр опору Pt100 з уніфікованим вихідним сигналом 4-20мА, напруга живлення 24 В DC, діапазон вимірювань -70...+250 °С	КOBOLD MWD технічний опис виробу [24]	MWD-L C G25 A 2 G B 0	КOBOLD, Німеччина	шт.	1	-	70 °С, температура в підігрівачі
1б	Перетворювач електропневматичний для перетворення аналогового сигналу постійного струму: 4-20 мА в уніфікований пневматичний сигнал 20-100 кПа. Рживл.=140 кПа.	ASCON TECNOLOGI C EPC30 технічний опис виробу [27]	EPC30	ASCON TECNOLOGIC, Італія	шт.	1	-	
1в	Пневматичний клапан Ржив. = 140 кПа, Рвих. = 20-100 кПа	ADCATrol PV16G технічний опис виробу [28]	PV.16G.11L100.1R1 5	Valsteam ADCA	шт.	1	-	Клапан подачі пари в підігрівач

Продовження таблиці 2.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2а	Витратомір турбінний, Ду=100мм, напруга живлення	КOBOLD TUR технічний опис	TUR-2010 M340	КOBOLD, Німеччина	шт.	1	-	40 м ³ /год, витрата

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	24 В DC, діапазон вимірювань 0-100 м ³ /год	виробу [25]						підігрітоїводи
2б	Перетворювач електропневматичний для перетворення аналогового сигналу постійного струму: 4-20 мА в уніфікований пневматичний сигнал 20-100 кПа. Рживл.=140 кПа.	ASCON TECNOLOGIC EPC30 технічний опис виробу [27]	EPC30	ASCON TECNO- LOGIC, Італія	шт.	1	-	
2в	Пневматичний клапан Ржив. = 140 кПа, Рвих. = 20-100 кПа	ADCA Trol PV16G технічний опис виробу [28]	PV.16G.11L100.1R15	Valsteam ADCA, Португалія	шт.	1	-	Клапан подачі води в апарат для гасіння вапна
3а	Ємнісний рівнемір з уніфікованим вихідним сигналом 4-20мА, напруга живлення 24 В DC, діапазон вимірювань, 0...2000 мм	KOBOLD NMC-N технічний опис виробу [25]	NMC-N 2 2G6 0 3	KOBOLD, Німеччина	шт.	1	-	90 %, рівень води в підігрі-вачі
3б	Перетворювач електропневматичний для перетворення аналогового сигналу постійного струму: 4-20 мА в уніфікований пневматичний сигнал 20-100 кПа. Рживл.=140 кПа.	ASCON TECNOLOGIC EPC30 технічний опис виробу [27]	EPC30	ASCON TECNO- LOGIC, Італія	шт.	1	-	
3в	Пневматичний клапан Ржив. = 140 кПа, Рвих. = 20-100 кПа	ADCA Trol PV16G технічний опис виробу [28]	PV.16G.11L100.1R15	Valsteam ADCA, Португалія	шт.	1	-	Клапан подачі води в підігрі-вач

Продовження таблиці 2.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4а	Густиномір з уніфікованим вихідним сигналом 4-20мА, напруга живлення 24 DC, діапазон вимірювань 0,5...5	SMAR DT301 технічний опис виробу [26]	DT301	SMAR, Франція	шт.	1	-	1,2 г/см ³ , густина вапняко- вого

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	г/см ³							молока
KM1- KM5	Електромагнітне реле. 3 контакти. Напруга макс. 440 В АС, струм комутації 20 А.	СВ «Альтера» каталог виробів [30]	relpol R3(N)-2013-23-5024-WTL	СВ «Альтера» м. Київ	шт.	5	-	
SB1, SB3, SB5, SB7, SB9	Кнопки. Напруга макс. 240 В АС, струм комутації 3 А.	СВ «Альтера» каталог виробів [29]	Lovato electric LPC B104	СВ «Альтера» м. Київ	шт.	5	-	
SB2, SB4, SB6, SB8, SB10	Кнопочна станція управління. Напруга макс. 240 В АС, струм комутації 3 А.	СВ «Альтера» каталог виробів [29]	Lovato electric LPC BL7223	СВ «Альтера» м. Київ	шт.	5	-	
SA1, SA2, SA3, SA4, SA5	Перемикач режимів. Напруга макс. 240 В АС, струм комутації 3 А.	СВ «Альтера» каталог виробів [29]	Lovato electric LPC S220	СВ «Альтера» м. Київ	шт.	5	-	
M1, M2, M3	Трьохфазний асинхронний двигун, потужність 3 кВт, напруга живлення 380 В	АИР90L2 технічний опис виробу [31]	АИР90L2	ООО "Системакс" м. Київ	шт.	3	-	
M4, M5	Насос з трьохфазним асинхронним двигуном, потужність 5.5 кВт, напруга живлення 380 В.	Grundfos TP технічний опис виробу [32]	Grundfos TP 150-110/6	Насос-Монтаж м. Київ	шт.	2	-	

2.1.4. Проектне компонування промислового логічного контролера (ПЛК)

Розробка системи автоматизації керування процесом виробництва вапнякового молока на цукровому заводі включала в себе використання промислового логічного контролера (ПЛК) виробника Schneider Electric моделі M340. Промисловий логічний контролер є ключовим елементом автоматизованої системи, відповідальним за ефективне та точне управління всіма аспектами виробничого процесу.

Вибір процесорного модуля, модуля живлення та необхідних модулів аналогових і дискретних входів та виходів для автоматизації технологічного процесу наведена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Вибір модулів для ПЛК.

Модулі вводу/виводу		Примітка
Найменування	Кількість	
BMX P34 2020	1	Модуль процесора Schneider Electric Modicon M340.
BMX CPS 2000	1	Модуль блоку живлення ПЛК
BMX AMI 0810	1	Модуль з 8-ми аналогових входів
BMX AMO 0410	1	Модуль з 4-х аналогових виходів
BMX DDI 1602	1	Модуль з 16-х дискретних входів
BMX DDO 1602	1	Модуль з 16-х дискретних виходів

Аналогові входи. Уніфіковані струмові сигнали 4-20 мА від датчиків температури, рівня, витрати та густини подаються в BMX AMI 0810 – модуля аналогових входів. ПЛК формує управляючі сигнали по отриманим значенням від датчика (рис. 2.1).

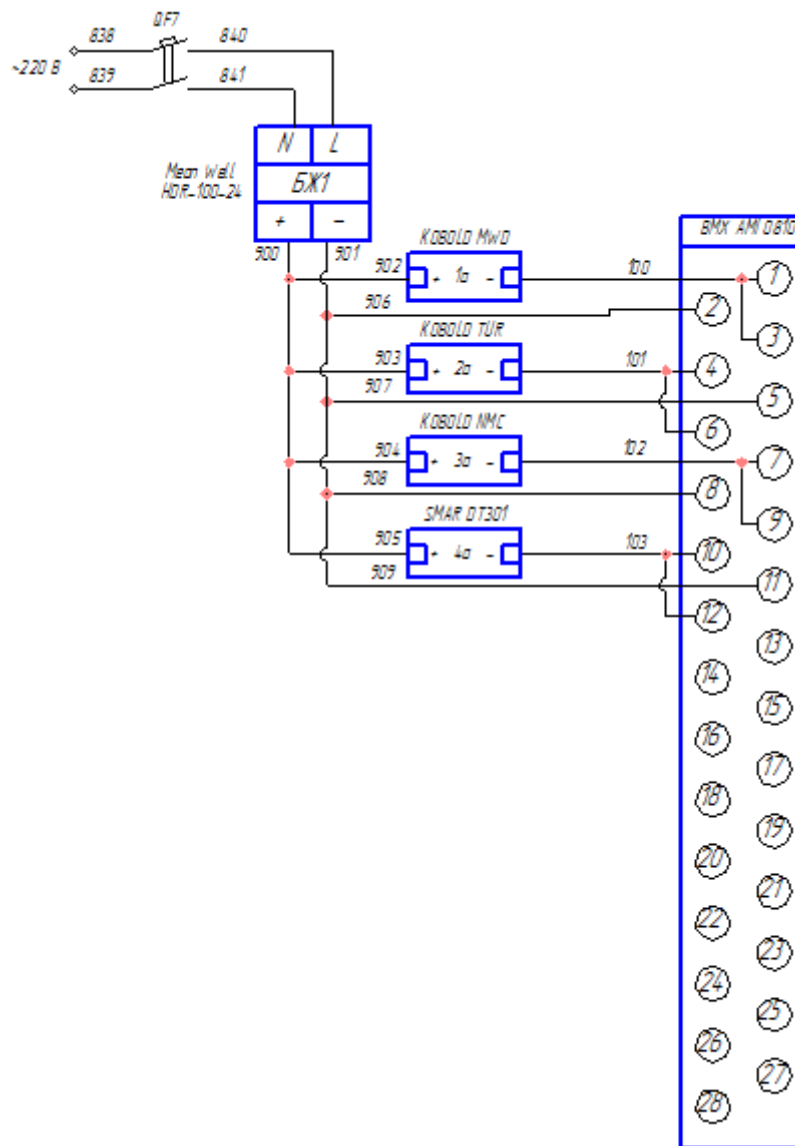


Рис. 2.1. Підключення датчиків до модуля BMX AMI 0810.

Аналогові виходи Сигнали управління, які були згенеровані, подаються на модуль аналогових виходів BMX АМО 0410, де вони перетворюються в уніфіковані струмові сигнали в діапазоні від 4 до 20 мА. Отримані дані управляючих сигналів передаються до електропневматичних перетворювачів, які, у свою чергу, управляють пневматичними клапанами. (рис. 2.2).

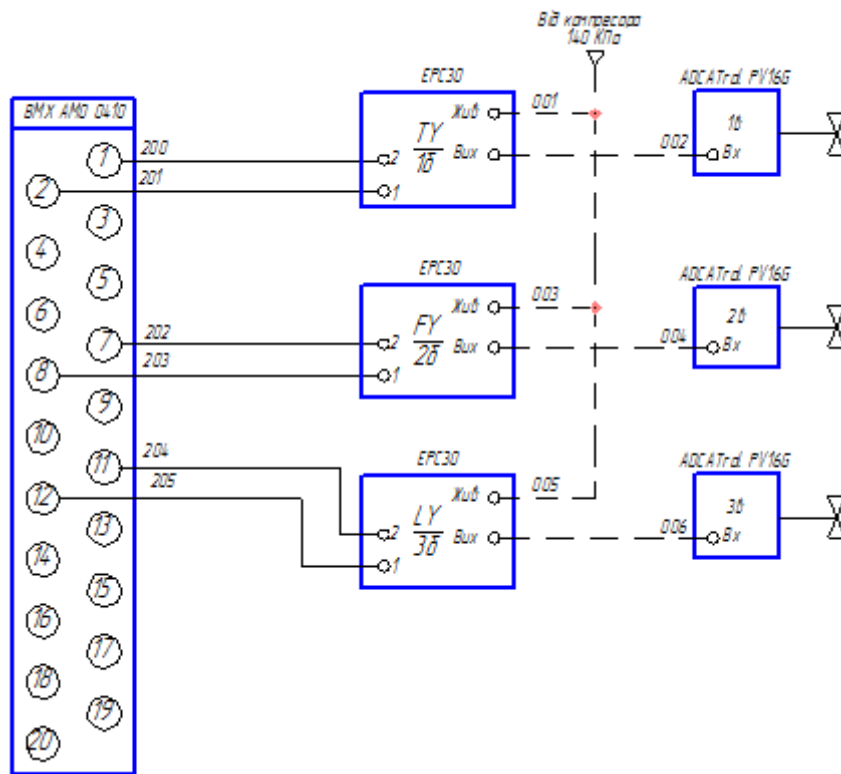


Рис. 2.2. Підключення до модуля BMX AMO 0410. електропневматичних перетворювачів

Дискретні входи включають в себе кнопки SB1, SB3, SB5, SB7, SB9, призначені для екстреної зупинки двигунів та насосів M1-M5. Ці кнопки розташовані на місці та підключені до модуля дискретних входів BMX DDI 1602. Коли натискана будь-яка з цих кнопок, ПЛК отримує команду для негайної зупинки двигунів та насосів M1-M5.

Також в системі використовуються перемикачі SA1, SA2, SA3, SA4, SA5, які відповідають за вибір режиму управління "автоматичний/ручний" для

двигунів та насосів М1-М5. Ці перемикачі розташовані на щиті та підключені до модуля дискретних входів ВМХ DDI 1602

(рис. 2.3).

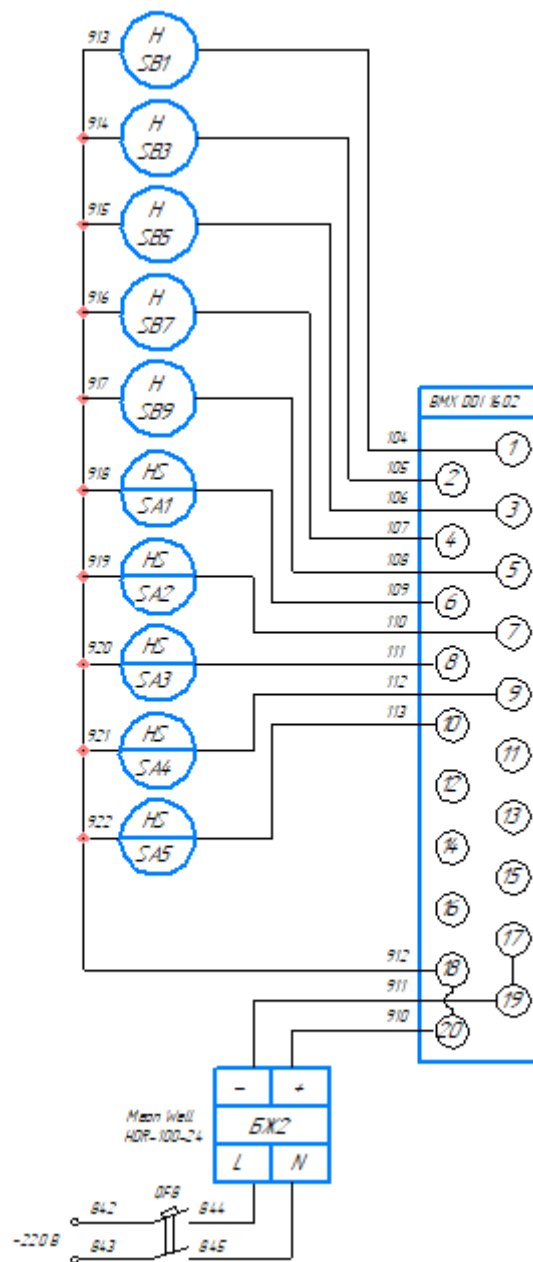


Рис. 2.3. Підключення кнопок та перемикачів до модуля ВМХ DDI 1602.

Дискретні виходи включають в себе магнітні пускачі КМ1-КМ5, які використовуються для управління двигунами та насосами М1-М5. Ці магнітні пускачі підключені до модуля дискретних виходів ВМХ DDO 1602. Завдяки магнітним пускачам КМ1-КМ5, ПЛК може керувати включенням або виключенням двигунів та насосів М1-М5 в системі.

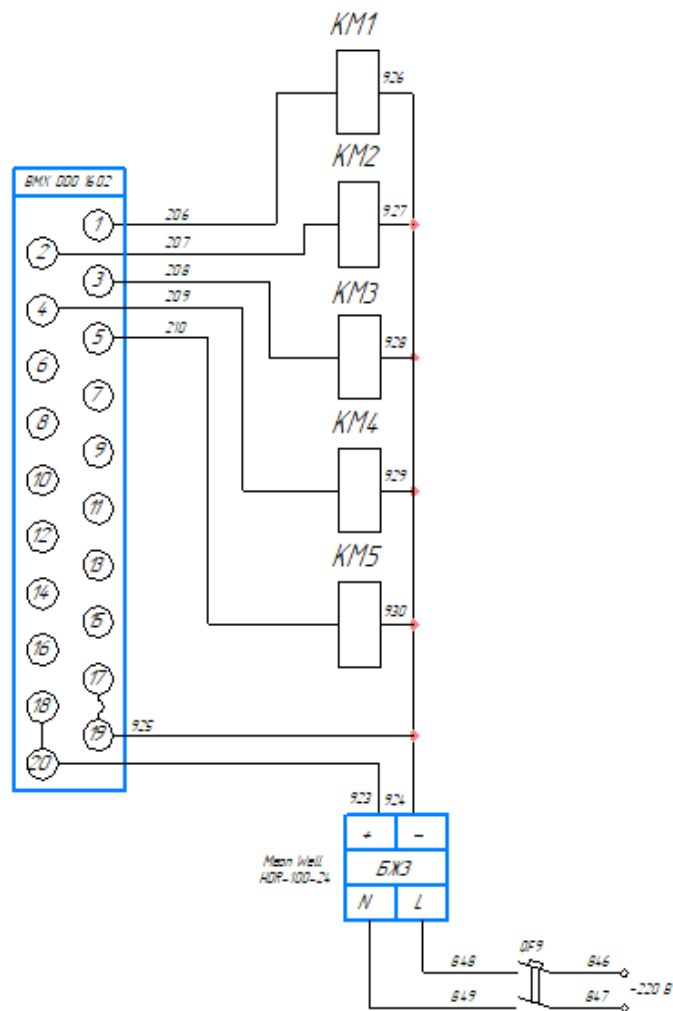


Рис. 2.4. Підключення магнітних пускатів до модуля BMX DDO 1602.

2.1.5. Загальна схема підключення датчиків та ВМ до ПЛК

Принципова схема підключення датчиків та вузлів управління (ВМ) до програмованого логічного контролера (ПЛК) для процесу виробництва вапнякового молока на цукровому заводі включає наступні компоненти:

1. QF1-QF9 - Автоматичні вимикачі з вбудованим захистом по струму, використовуються для управління живленням технічних засобів автоматизації.
2. БЖ1-БЖ3 - Блоки живлення, які надають постійну напругу на рівні 24 В для живлення технічних засобів автоматизації.

Нумерація провідників в системі включає різні групи:

- Нумерація провідників (800-849) для змінного струму.
- Нумерація провідників (900-930) для постійного струму.

- Нумерація провідників (001-006) для пневматичних сигналів.
- Нумерація провідників (100-113) для вимірювальних сигналів від датчиків до ПЛК.
- Нумерація провідників (200-210) для сигналів управління від ПЛК до електропневматичних перетворювачів та магнітних пускачів.

Ця система дозволяє чітко ідентифікувати та організувати підключення різних типів сигналів та елементів управління для ефективного функціонування автоматизованої системи на цукровому заводі.

2.2. Опис функцій, що інтелектуалізуються

2.2.1. Розробка вимог до ІСК (Requirements diagram)

Вимоги, що ставляться до розробки інтелектуальних функцій керування процесом виробництва вапнякового молока на цукровому заводі представлені у вигляді діаграми вимог (Requirements diagram) на рис. 2.5.

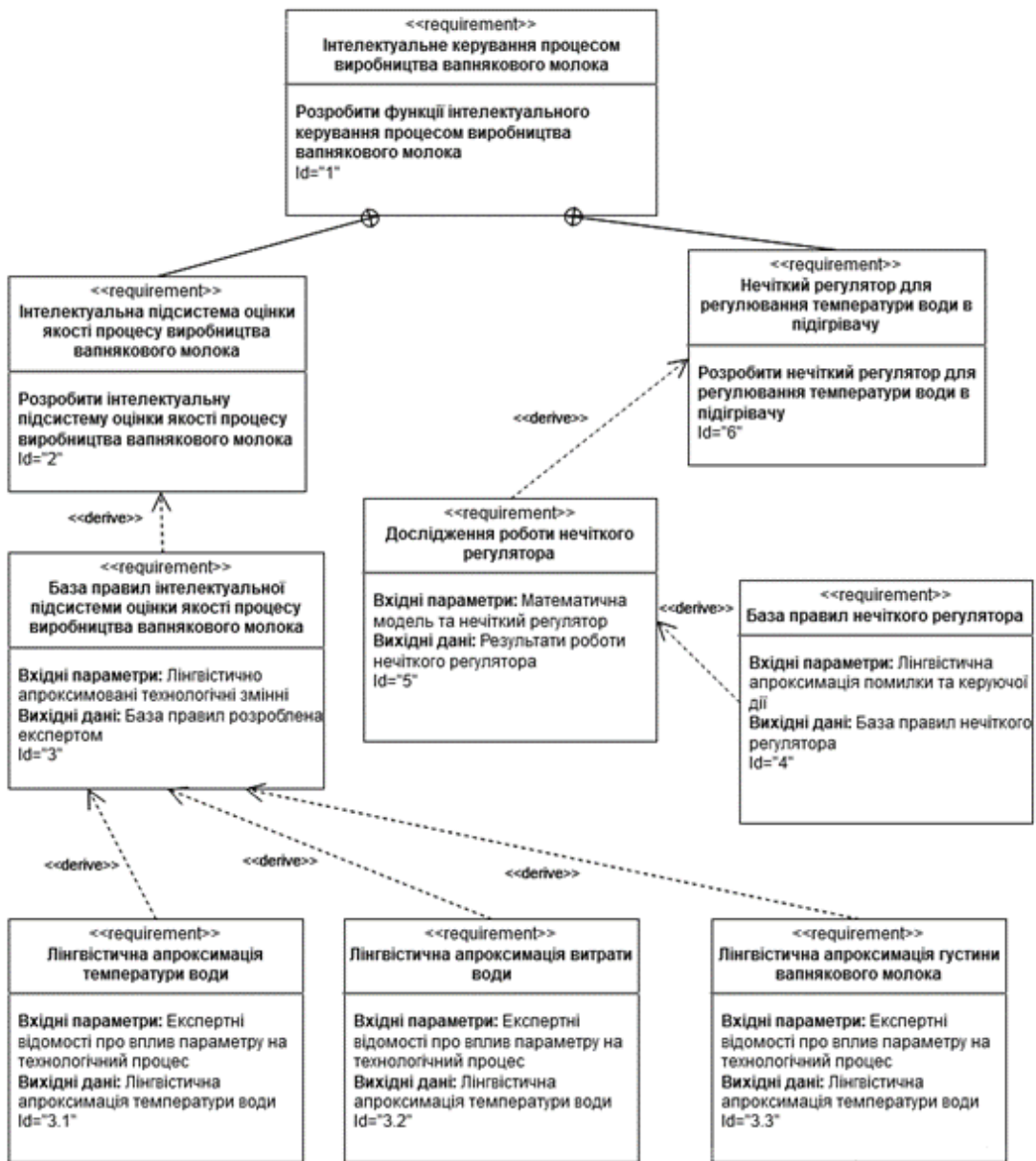


Рис. 2.5. Діаграма вимог (Requirements diagram).

2.2.2. Визначення функцій користувачів (Use Case diagram)

Діаграма функцій користувачів (Use Case diagram) на рис. 2.6 відображає взаємодію між проєктантом, експертом з предметної області та оператором у процесі розробки та використання інтелектуальних функцій керування процесом виробництва вапнякового молока на цукровому заводі. Ця діаграма ідентифікує різні використання (use cases), або можливі сценарії взаємодії, між різними користувачами системи. У цьому контексті, проєктант, експерт та оператор взаємодіють з системою для розробки та ефективного використання інтелектуальних функцій у керуванні виробництвом вапнякового молока.

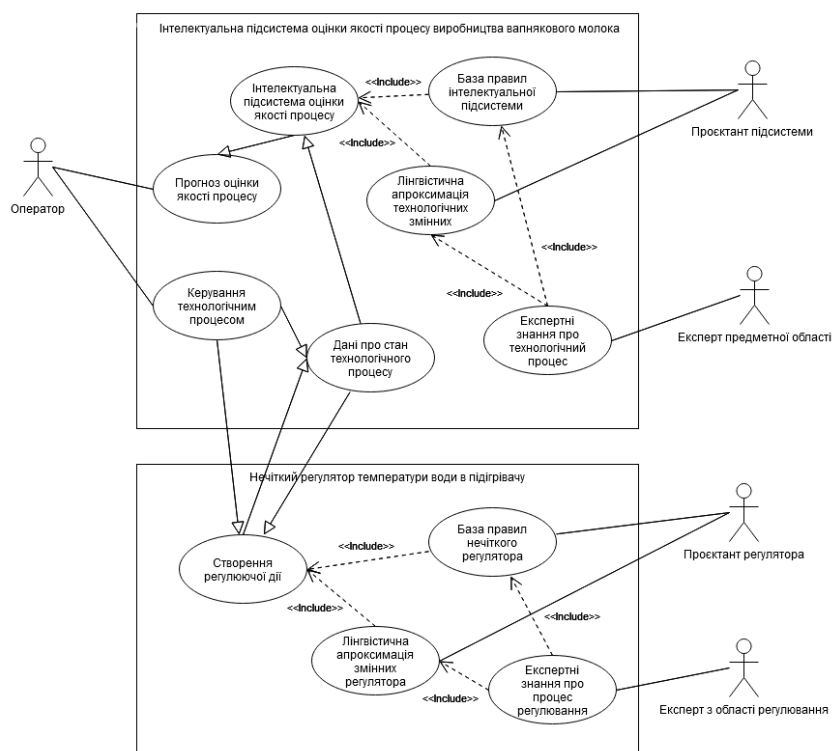


Рис. 2.6. Діаграми функцій користувачів (Use Case diagram).

2.2.3. Розробка блоків складових елементів системи (Block Definition Diagram)

Діаграма визначення блоків для інтелектуальної підсистеми оцінки якості процесу виробництва вапнякового молока (block2) представлена на рис. 2.8.

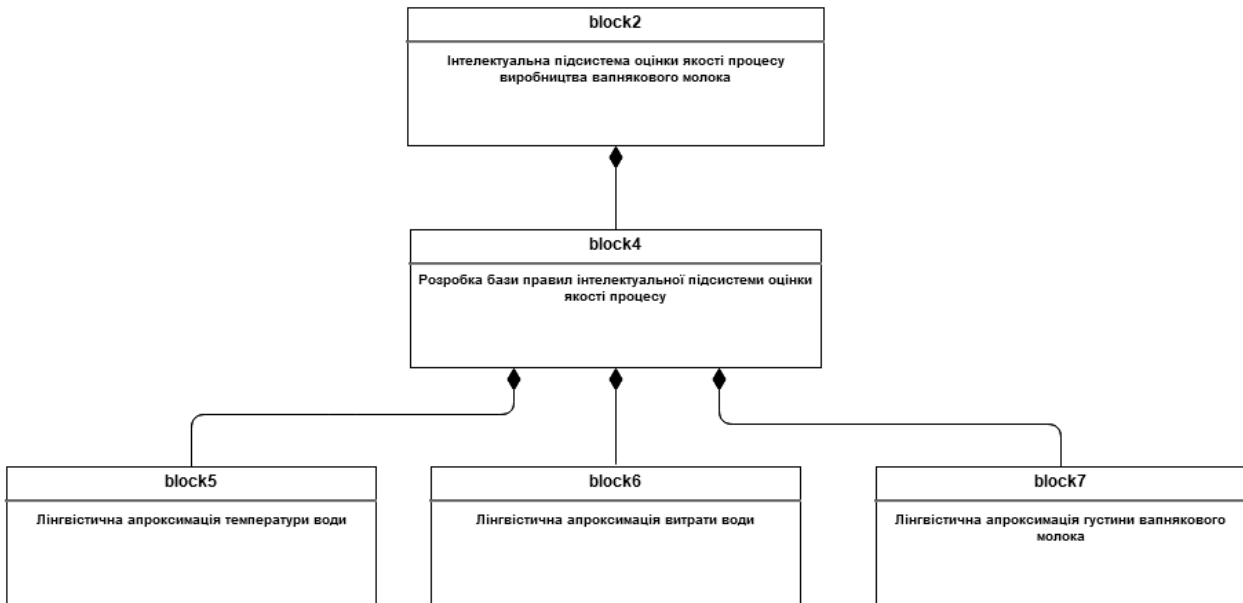


Рис. 2.6. Діаграма визначення блоків block2.

На діаграмі визначення блоків (Block Definition Diagram) на рис. 2.7 представлені функції інтелектуального керування процесом виробництва вапнякового молока на цукровому заводі. У цій діаграмі функції (block1) розділені на наступні компоненти (блоки):

- block2 – інтелектуальна підсистема оцінки якості процесу виробництва вапнякового молока;
- block3 – нечіткий регулятор для контролю температури води в підігрівачі.

Ця діаграма визначення блоків надає структурний огляд функціональних компонентів системи інтелектуального керування, які сприяють ефективному контролю та управлінню процесом виробництва вапнякового молока на цукровому заводі.

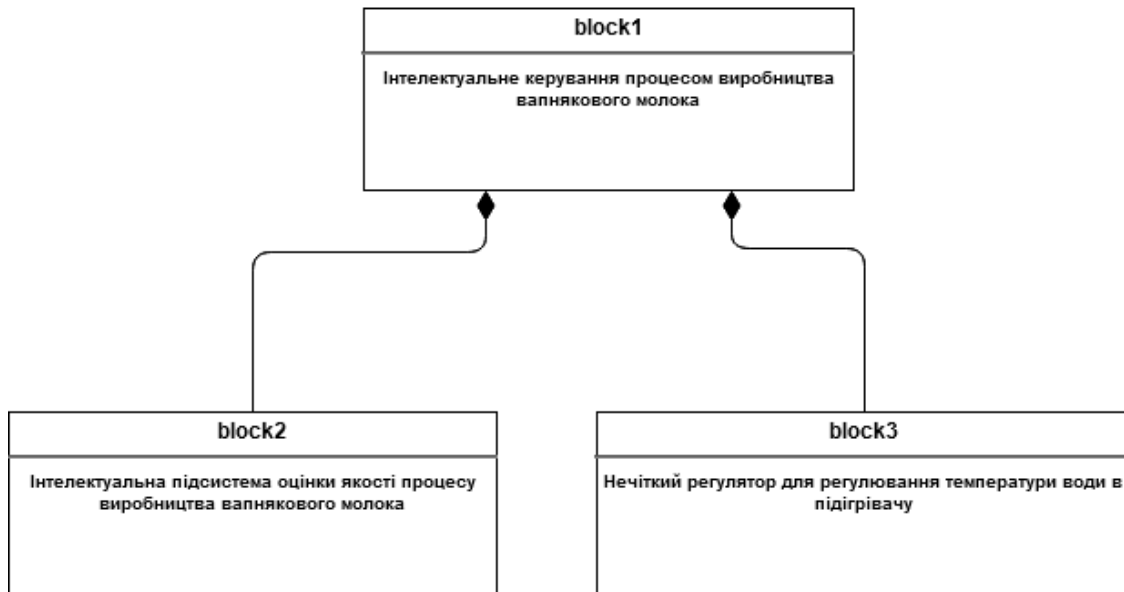


Рис. 2.7. Діаграма визначення блоків (Block Definition Diagram).

Діаграма визначення блоків для нечіткого регулятора для регулювання температури води в підігрівачу (block3) представлена на рис. 2.9.

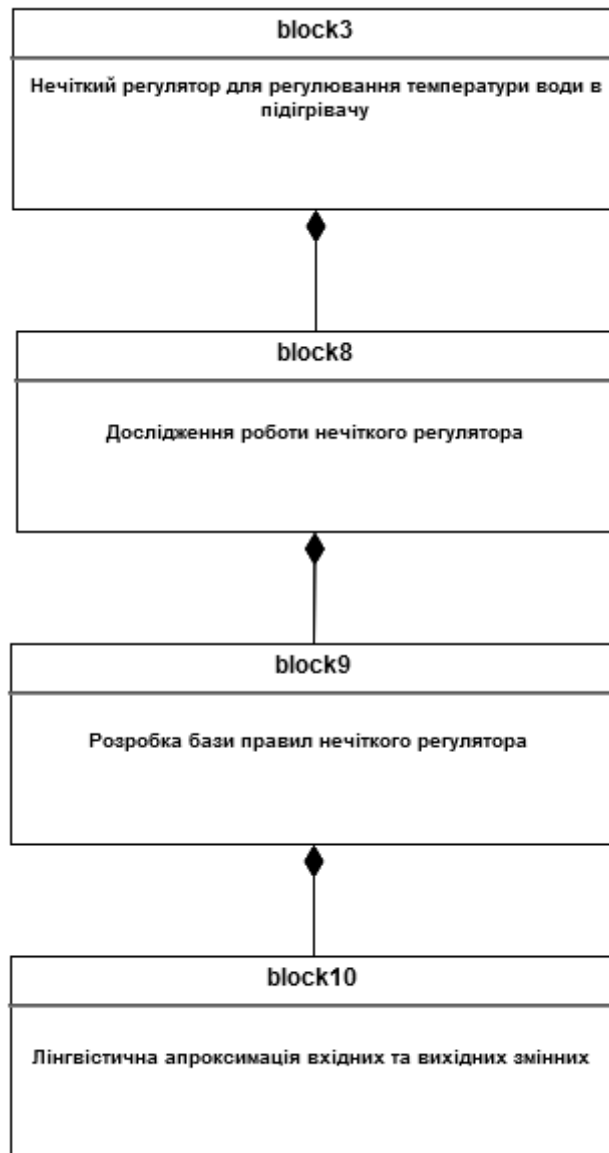


Рис. 2.9. Діаграма визначення блоків block3.

2.2.4. Розробка алгоритмічного забезпечення ІСК

2.4.1. Визначення життєвого циклу ІСК та її процесів (Activity diagram)

Взаємодію між блоками інтелектуальної підсистеми оцінки якості процесу виробництва вапнякового молока описано за допомогою діаграми діяльності (Activity diagram), яка наведена на рис. 2.10.

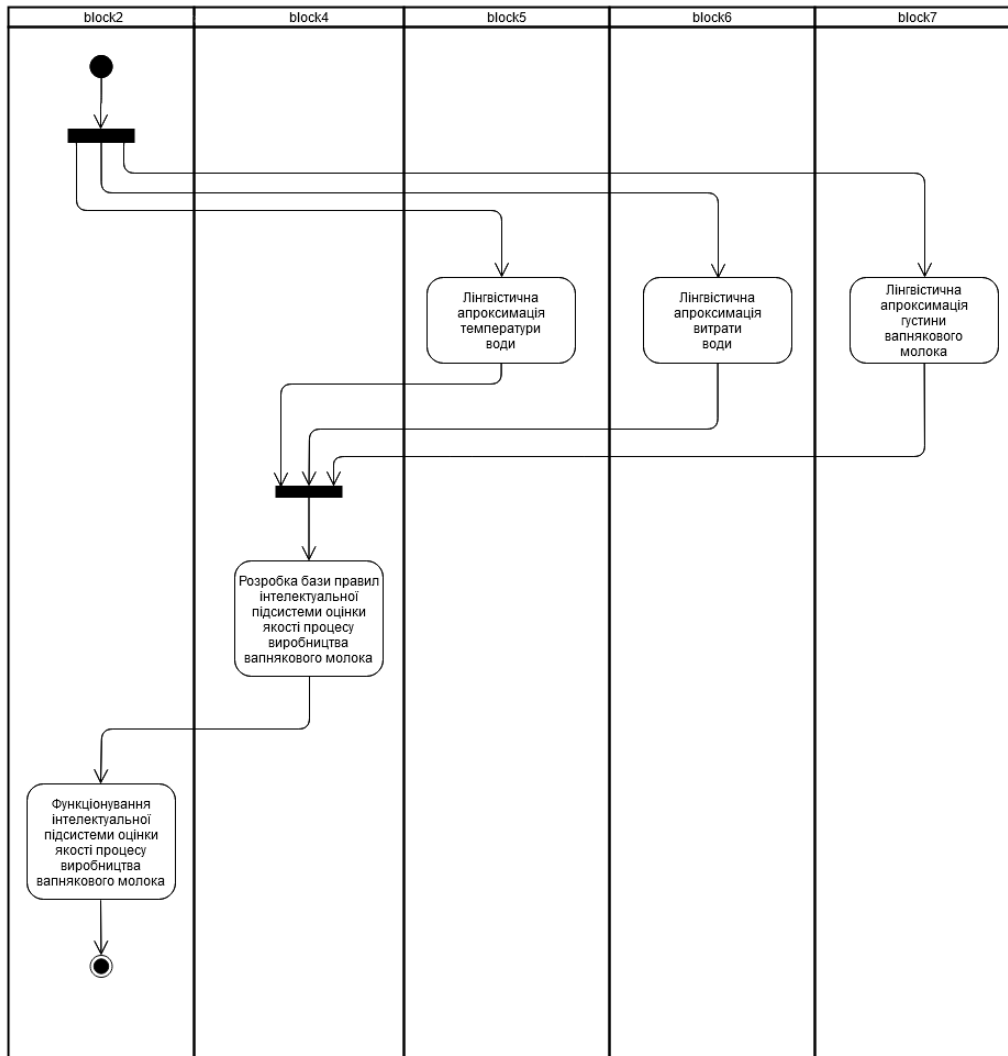


Рис. 2.10. Діаграма діяльності (Activity diagram) інтелектуальної підсистеми оцінки якості процесу виробництва вапнякового молока.

Взаємодію між блоками нечіткого регулятора для регулювання температури води в підігрівачу описано за допомогою діаграми діяльності (Activity diagram), представленої на рис. 2.11..

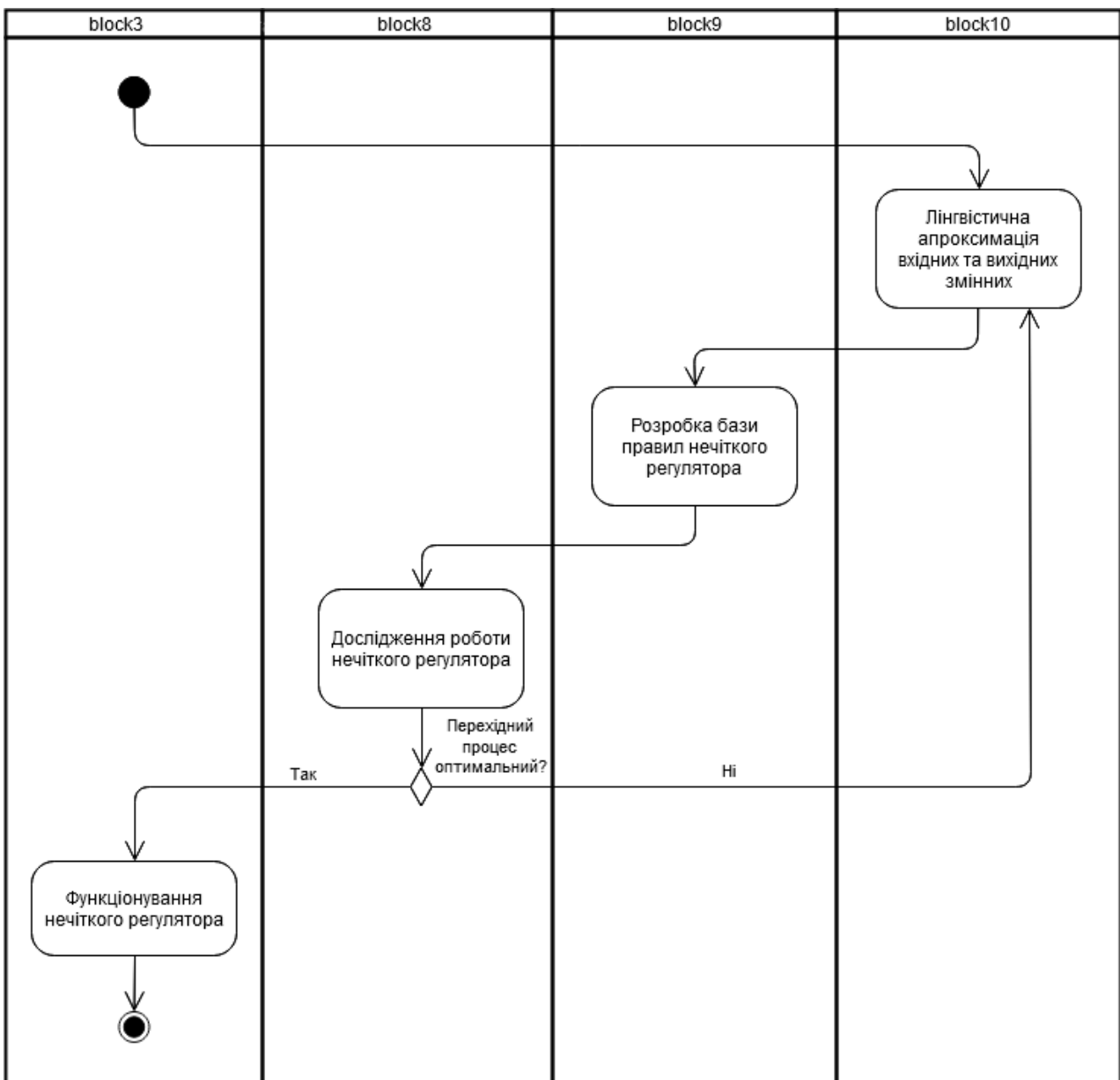


Рис. 2.11. Діаграма діяльності (Activity diagram) нечіткого регулятора для регулювання температури води в підігрівачу.

2.4.2. Вирішення проблеми синхронізації підсистем (Sequence diagram)

Взаємодію блоків інтелектуальної підсистеми оцінки якості процесу виробництва вапнякового молока на часовій послідовності представлено за допомогою діаграми послідовності (Sequence diagram) на рис. 2.12.

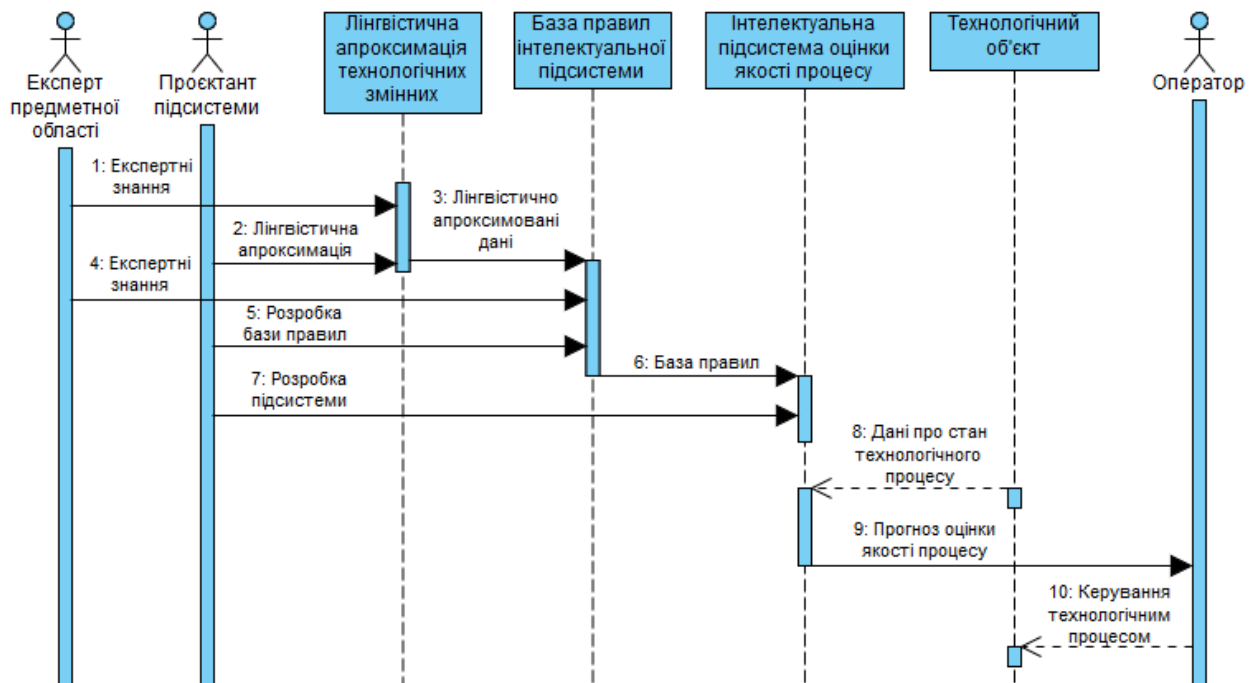


Рис. 2.12. Діаграма послідовності (Sequence diagram) інтелектуальної підсистеми оцінки якості процесу виробництва вапнякового молока.

Інтерацію між блоками інтелектуальної підсистеми оцінки якості процесу виробництва вапнякового молока подано на часовій послідовності за допомогою діаграми послідовності (Sequence diagram) на рис. 2.12

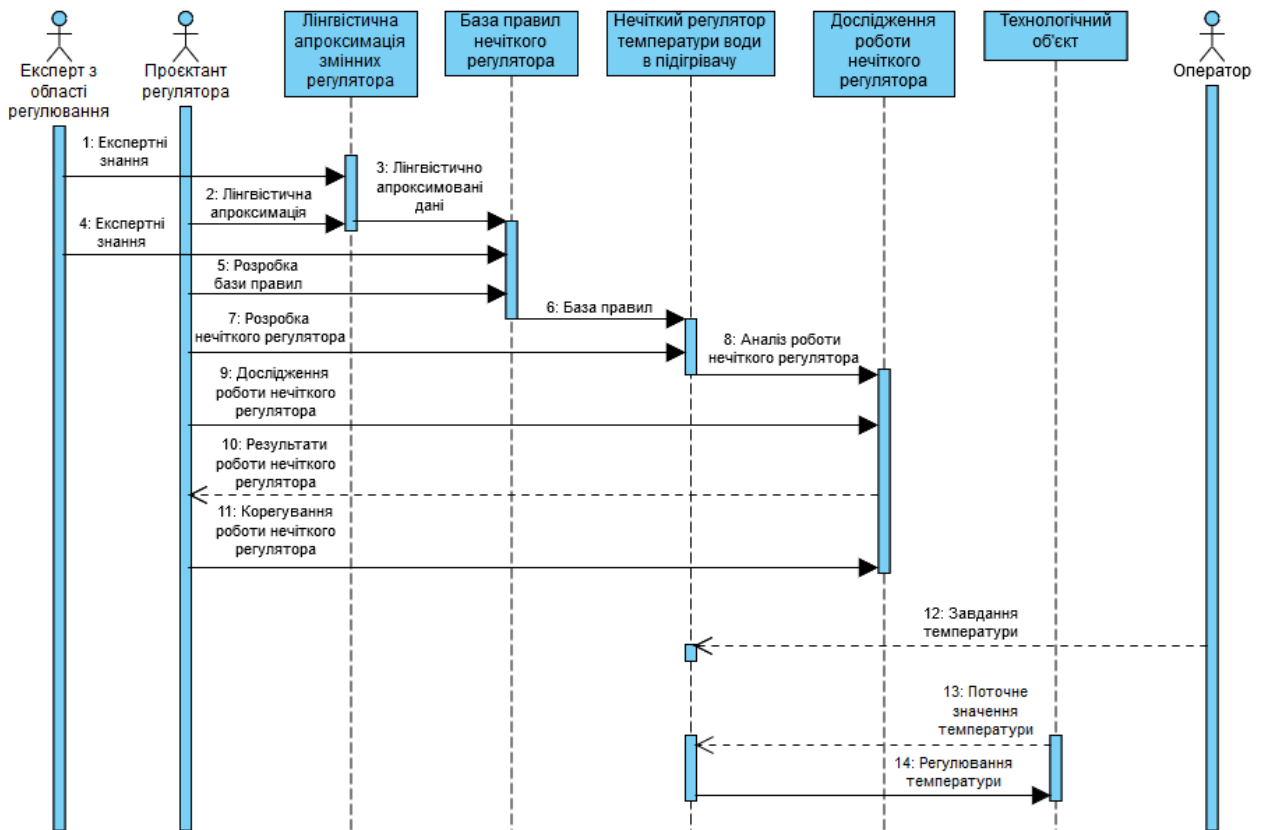


Рис. 2.13. Діаграма послідовності (Sequence diagram) нечіткого регулятора для регулювання температури води в підігрівачу.

Розділ 3. Розробка інтелектуальної підсистеми керування процесом виробництва вапнякового молока на цукровому заводі

3.1. Побудова інтелектуальної підсистеми керування процесом виробництва вапнякового молока (ШОЯ ВАП) на цукровому заводі

Інтелектуальна підсистема оцінки якості процесу виробництва вапнякового молока на цукровому заводі (ШОЯ ВАП) є інноваційним рішенням, призначеним для надання оператору прогнозу щодо густини вапнякового молока на виході апарату для гасіння вапна. Ця підсистема використовує нечітку логіку та алгоритм Мамдані для досягнення точних та адаптивних результатів оцінки.

Основні параметри, які використовуються для прогнозування густини вапнякового молока, включають температуру води для гасіння вапна та витрату води для гасіння вапна. Алгоритм Мамдані (рис. 3.1). дозволяє враховувати нечіткість та неоднозначність вхідних даних та приймати рішення на основі логічних правил.

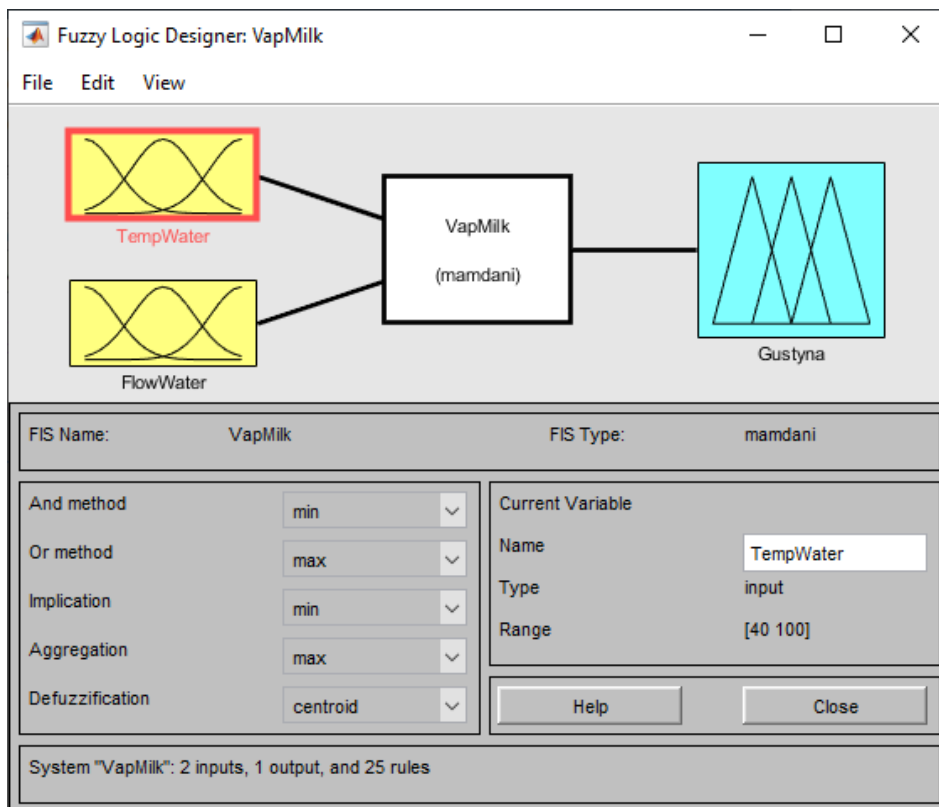


Рис. 3.1. Інтелектуальна підсистема оцінки якості процесу виробництва вапнякового молока на цукровому заводі (ШОЯ ВАП).

Для ефективної роботи інтелектуальної підсистеми оцінки якості процесу виробництва вапнякового молока, проведено лінгвістичну апроксимацію

вхідних та вихідних змінних. До вхідних змінних цієї підсистеми включаються такі технологічні параметри:

- Температура води для гасіння вапна (TempWater).
- Витрата води для гасіння вапна (FlowWater).

Вихідною змінною є густина вапнякового молока (Gustyna).

Лінгвістична апроксимація температури води (TempWater) для гасіння вапна здійснена за допомогою гаусової (gauss2mf) функції належності. Нижче наведено назви змінних та параметри функцій належності, які були використані:

- LowTemp – низька температура, параметри функції належності: [5 40 5 50] (рис. 3.2.1).
- LowNormTemp – температура нижче норми, параметри функції належності: [3 58 3 62] (рис. 3.2.2).
- NormTemp – нормальна температура, параметри функції належності: [3 68 3 72] (рис. 3.2.3).
- HighNormTemp – температура вище норми, параметри функції належності: [3 78 3 82] (рис. 3.2.4).
- HighTemp – висока температура, параметри функції належності: [5 90 5 100] (рис. 3.2.5).

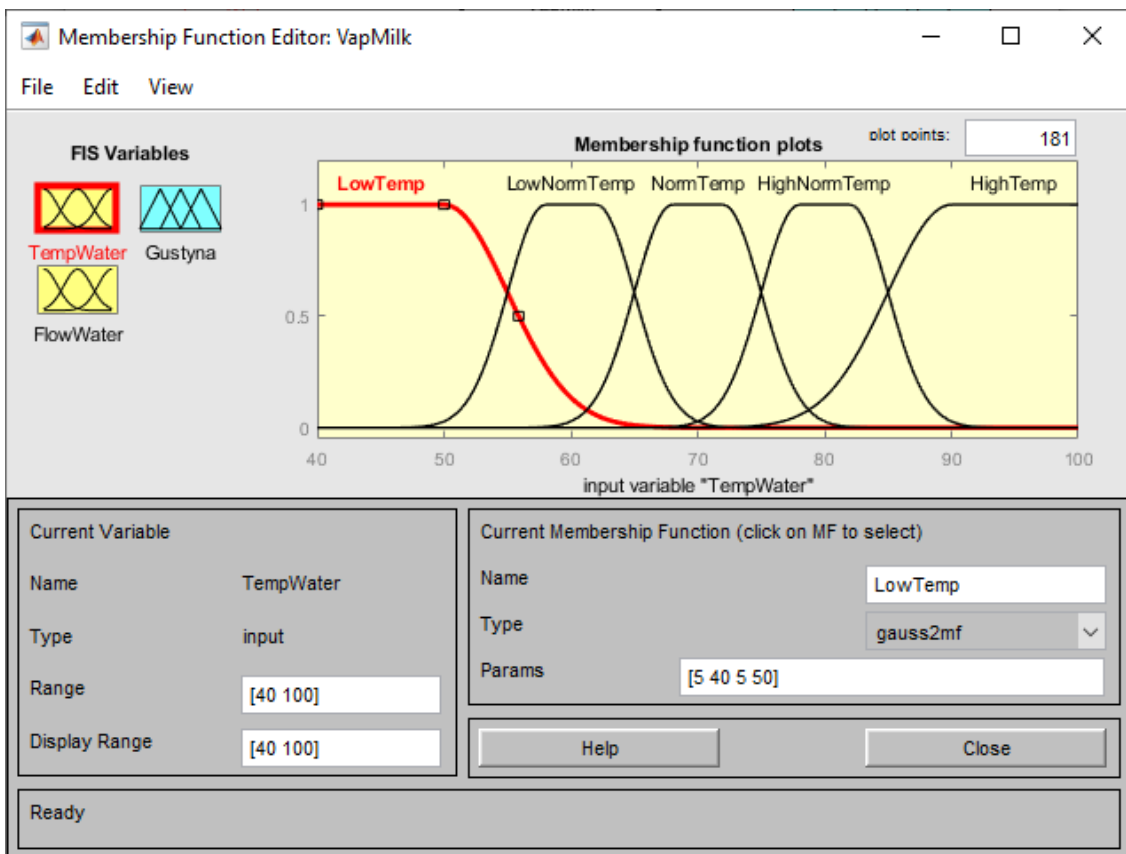


Рис. 3.2.1. Лінгвістична змінна LowTemp.

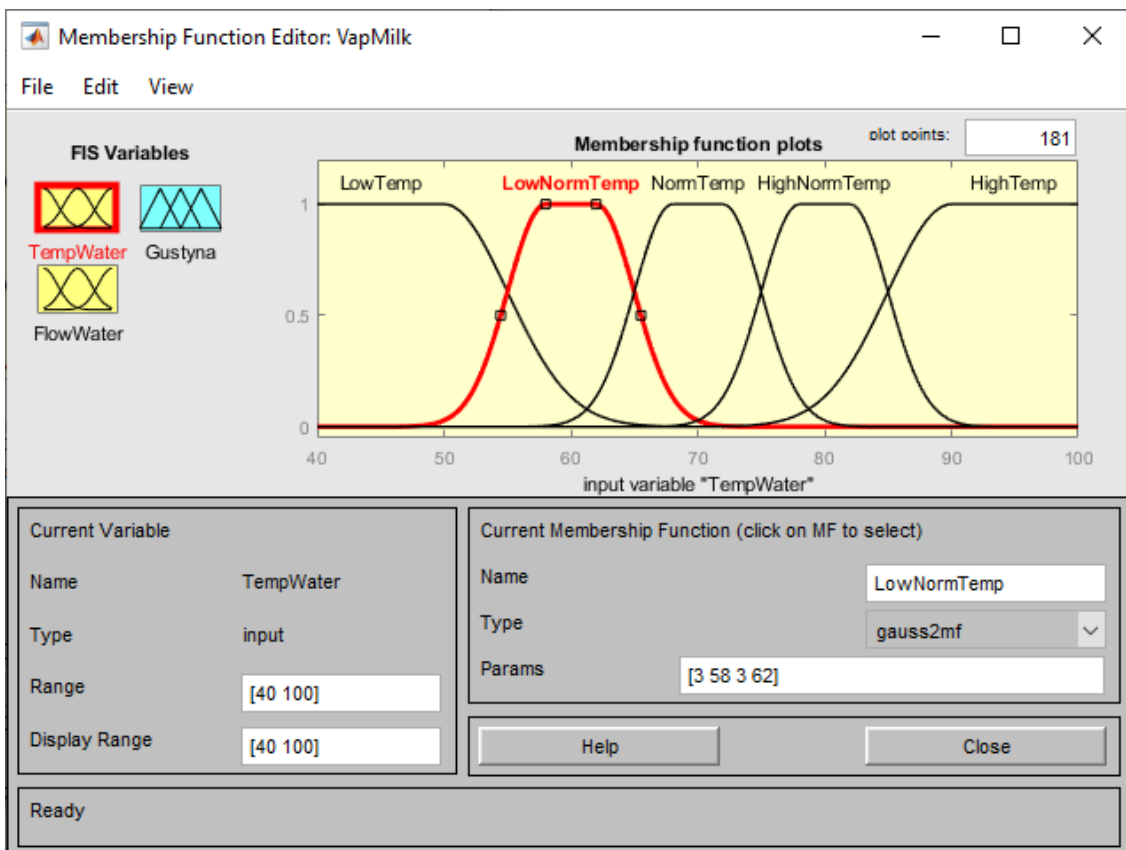


Рис. 3.2.2. Лінгвістична змінна LowNormTemp.

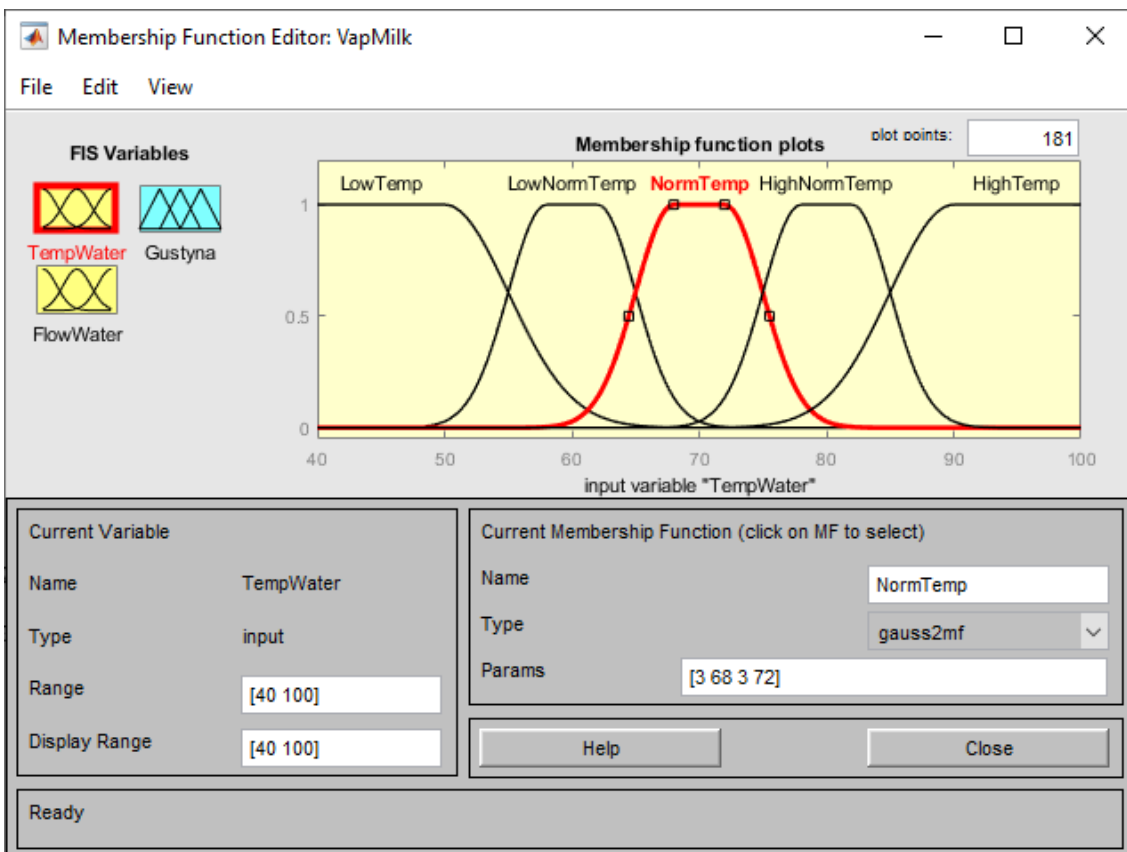


Рис. 3.2.3. Лінгвістична змінна NormTemp.

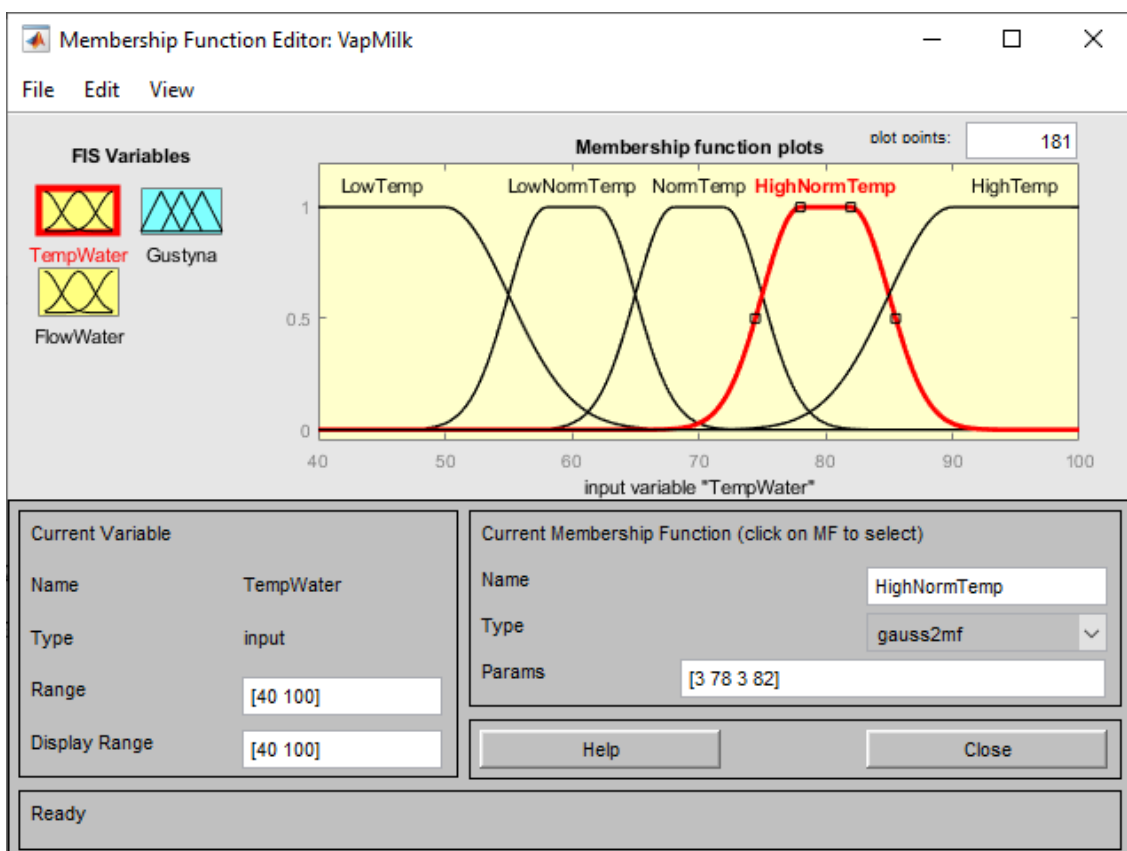


Рис. 3.2.4. Лінгвістична змінна NormHighTemp.

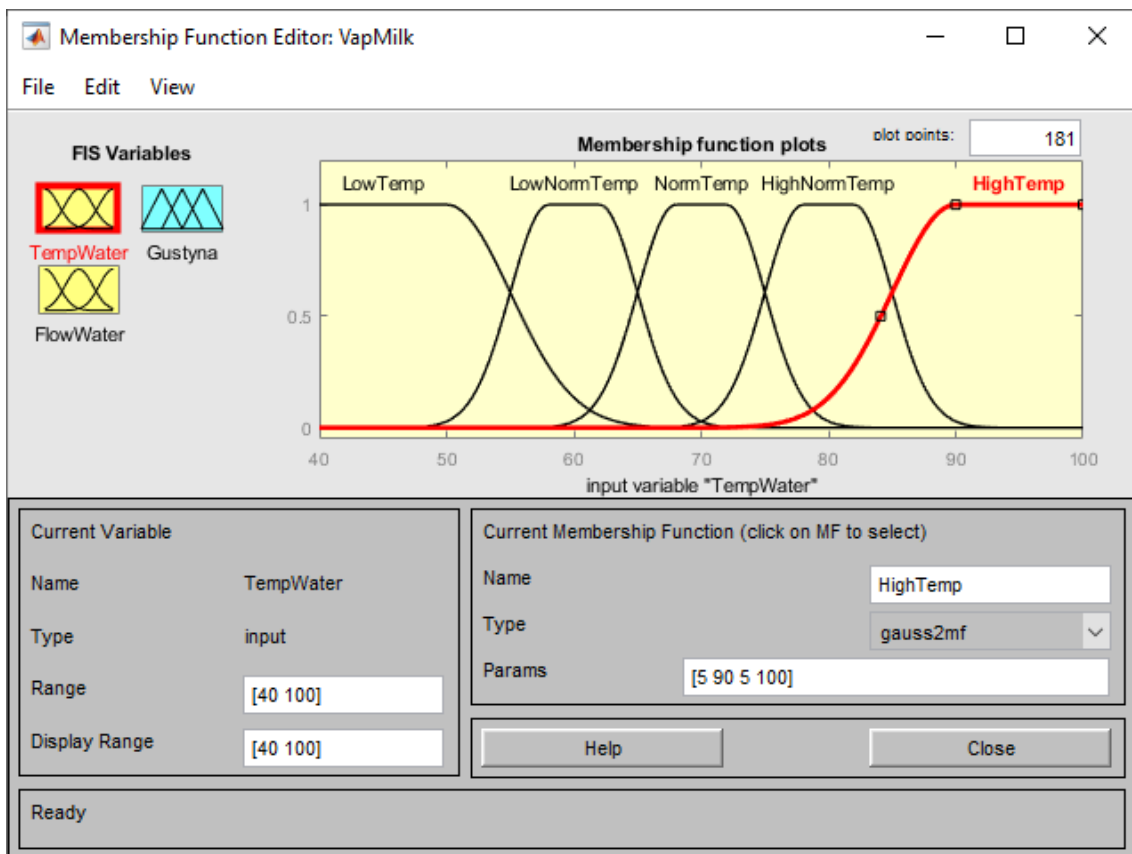


Рис. 3.2.5. Лінгвістична змінна HighTemp.

Важливим етапом лінгвістичної апроксимації було визначення впливу витрати води (FlowWater) на процес гасіння вапна за допомогою гаусової (gauss2mf) функції належності. Нижче представлені назви змінних та параметри функцій належності, використаних під час цього процесу:

- LowFlow – низька витрата води, параметри функції належності: [5 10 5 20] (рис. 3.3.1).
- LowNormFlow – витрата води нижче норми, параметри функції належності: [2 27 2 33] (рис. 3.3.2).
- NormFlow – нормальна витрата води, параметри функції належності: [2 37 2 43] (рис. 3.3.3).
- HighNormFlow – витрата води вище норми, параметри функції належності: [2 47 2 53] (рис. 3.3.4).
- HighFlow – висока витрата води, параметри функції належності: [5 60 5 70] (рис. 3.3.5).

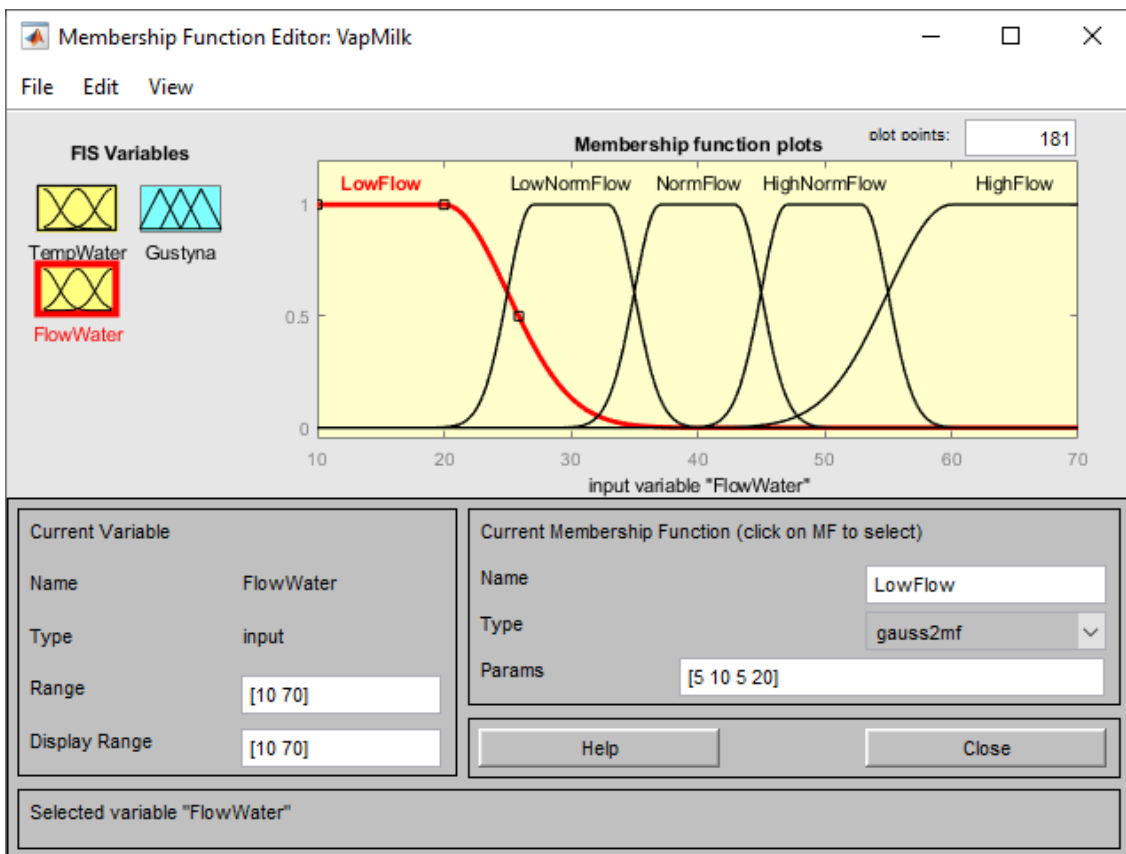


Рис. 3.3.1. Лінгвістична змінна LowFlow.

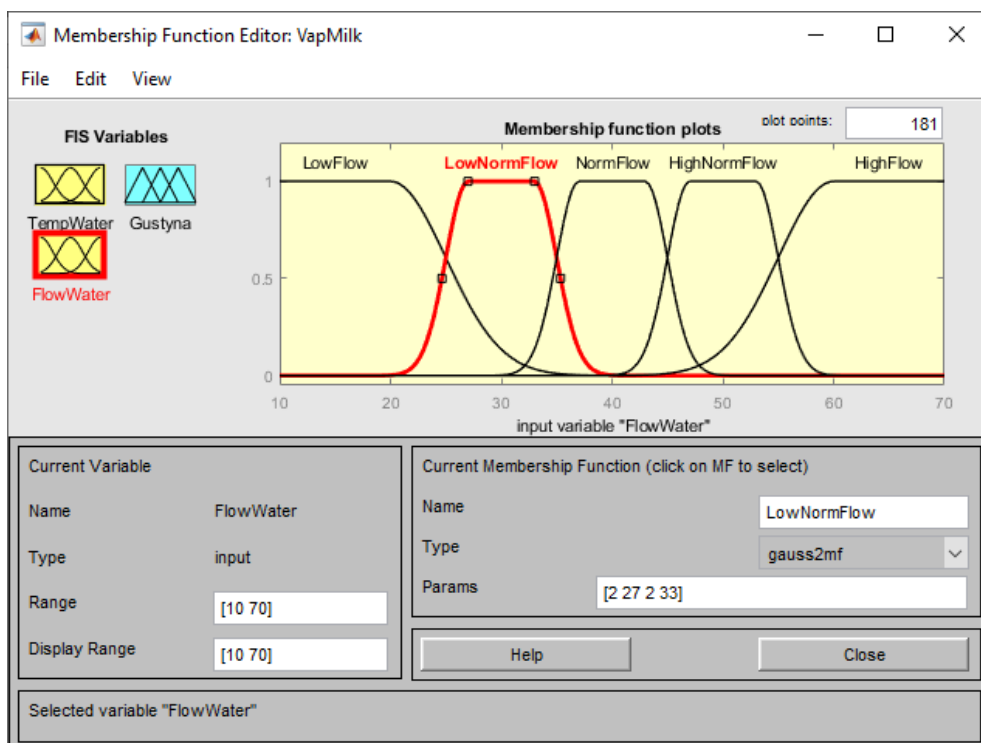


Рис. 3.3.2. Лінгвістична змінна LowNormFlow.

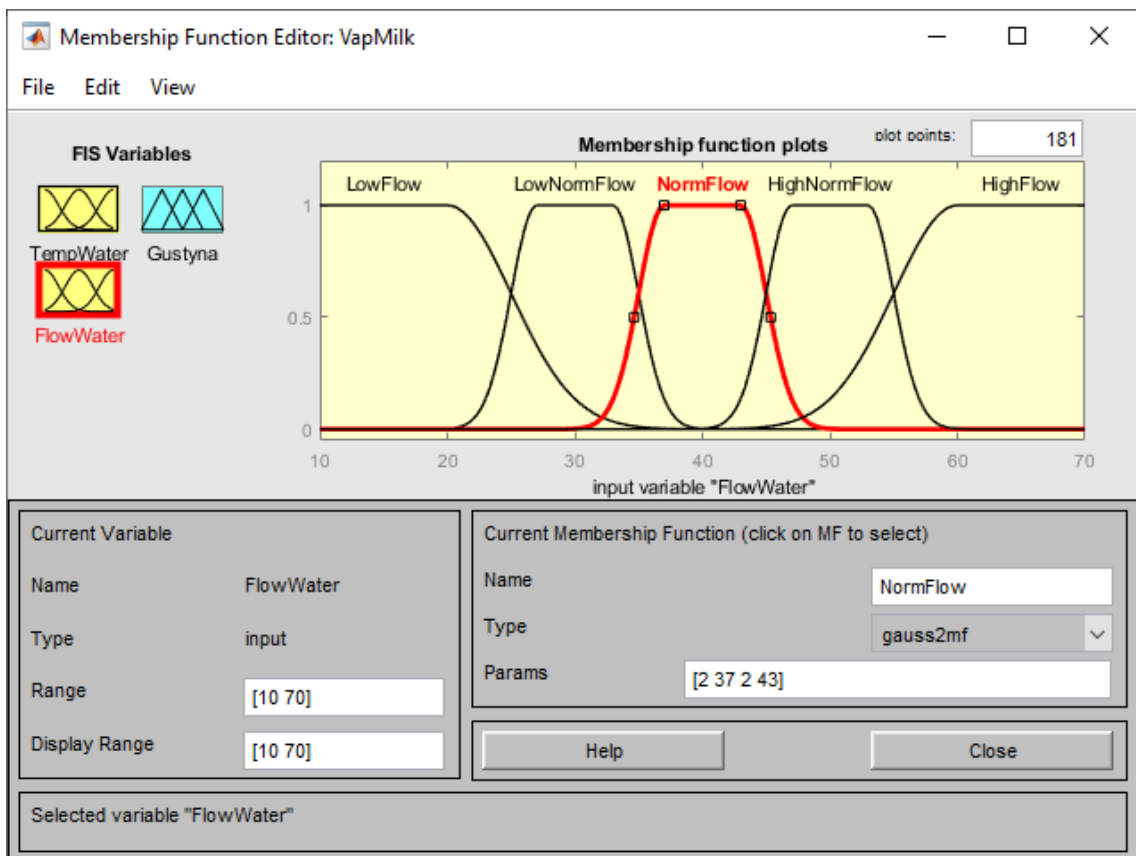


Рис. 3.3.3. Лінгвістична змінна NormFlow.

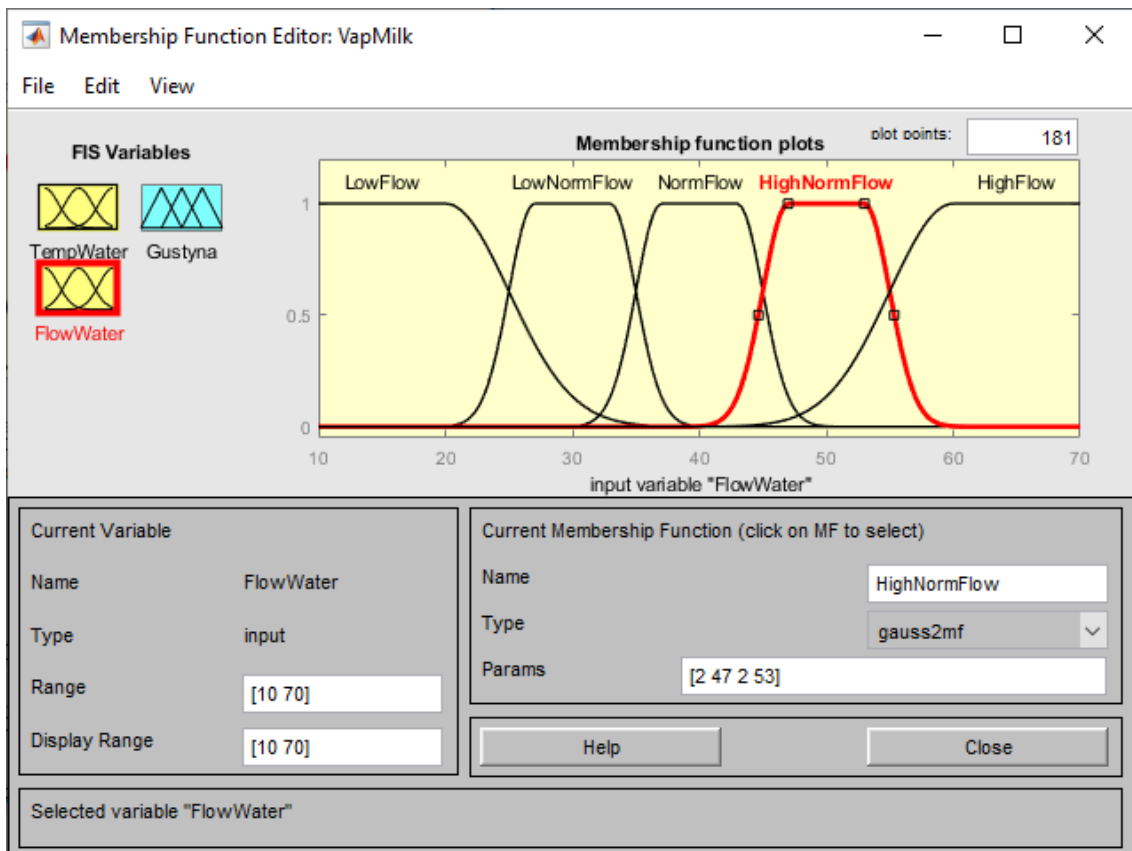


Рис. 3.3.4. Лінгвістична змінна HighNormFlow.

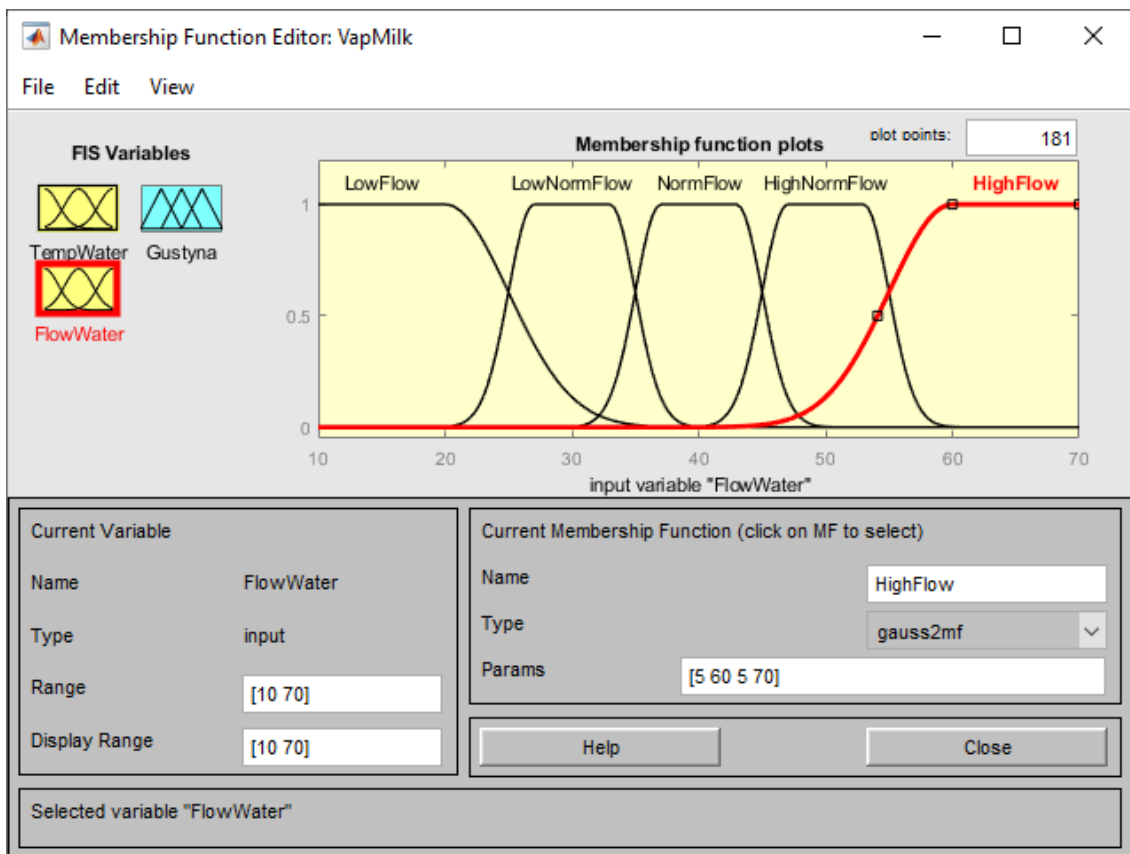


Рис. 3.3.5. Лінгвістична змінна HighFlow.

Лінгвістична апроксимація густини вапнякового молока (Gustyna) проводилася за допомогою гауссової (gauss2mf) функції належності. Нижче описано використані назви змінних та параметри функції належності:

- LowGust – низька густина, параметри функції належності: [0.2 0.2 0.2 0.4]; (рис. 3.4.1);
- LowNormGust – густина нижче норми, параметри функції належності: [0.1 0.7 0.1 0.9]; (рис. 3.4.2);
- NormGust – нормальна густина, параметри функції належності: [0.1 1.1 0.1 1.3]; (рис. 3.4.3);
- HighNormGust – густина вище норми, параметри функції належності: [0.1 1.5 0.1 1.7]; (рис. 3.4.4);
- HighGust – висока густина, параметри функції належності: [0.2 2 0.2 2.2]; (рис. 3.4.5).

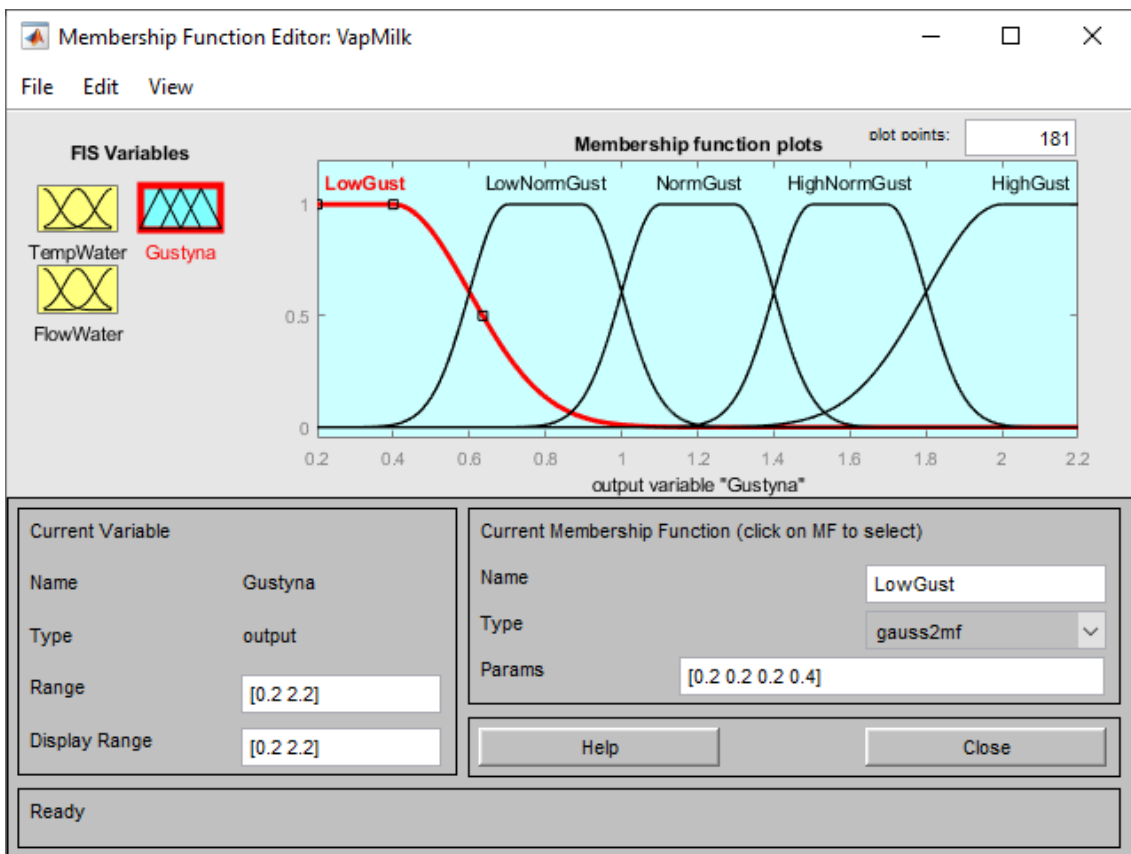


Рис. 3.4.1. Лінгвістична змінна LowGust.

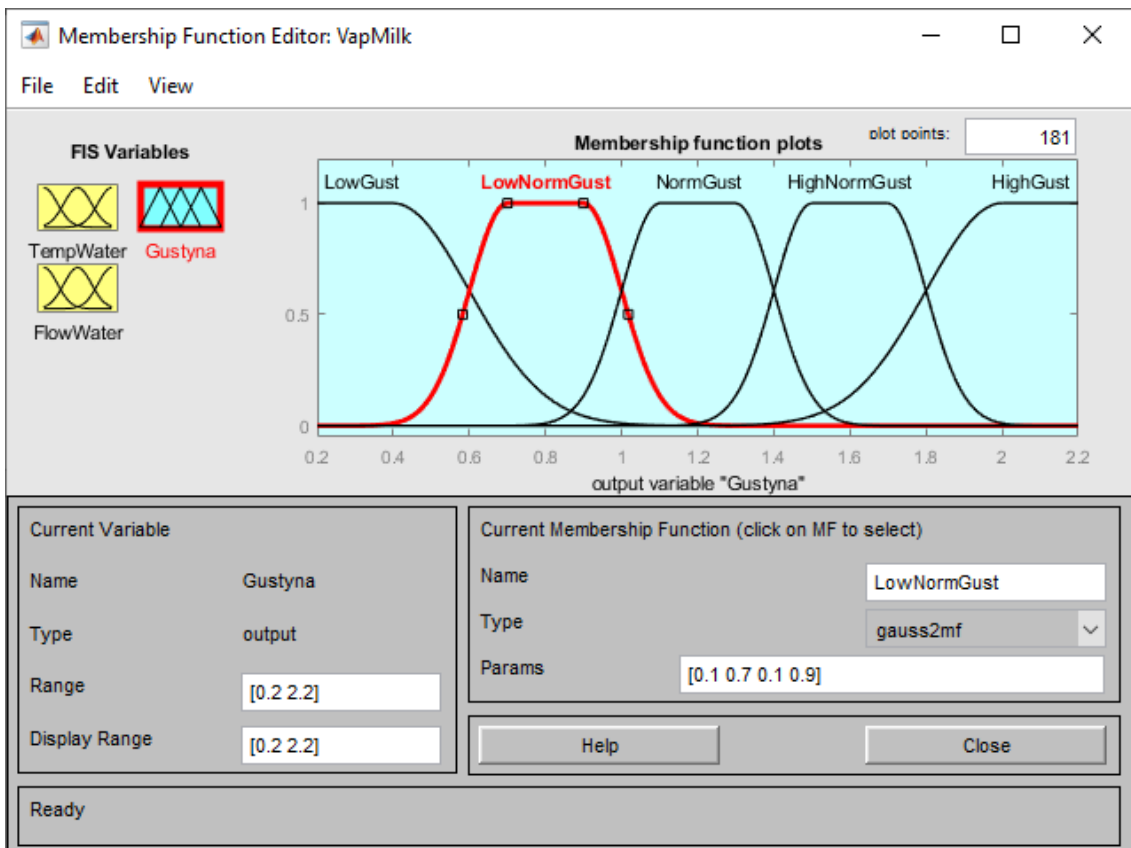


Рис. 3.4.2. Лінгвістична змінна LowNormGust.

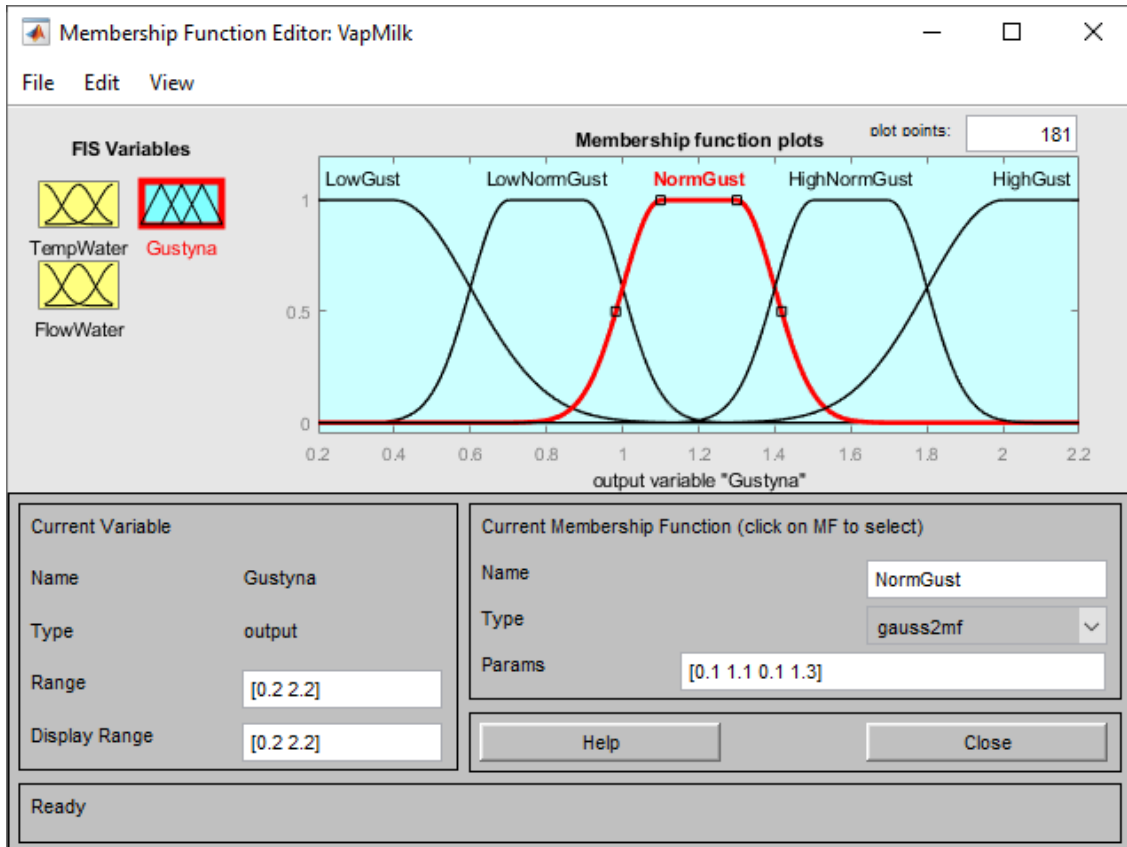


Рис. 3.4.3. Лінгвістична змінна NormGust.

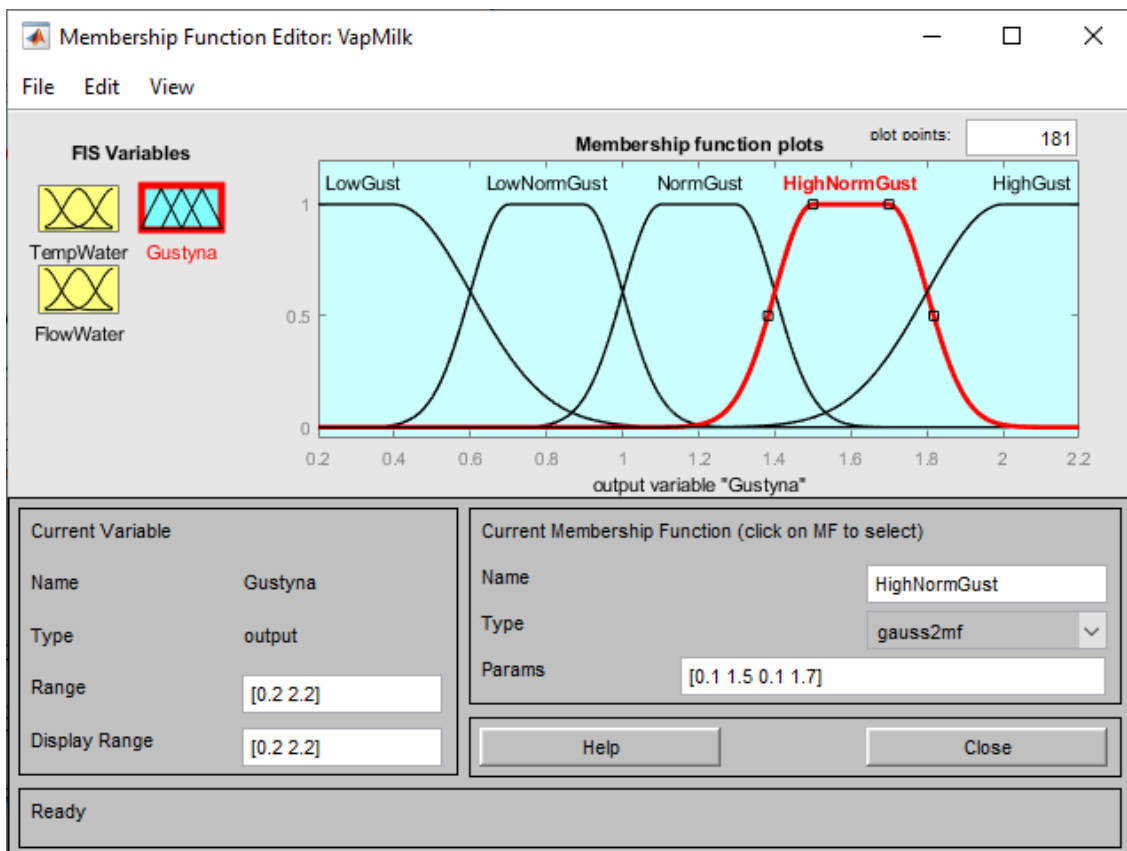


Рис. 3.4.4. Лінгвістична змінна HighNormGust.

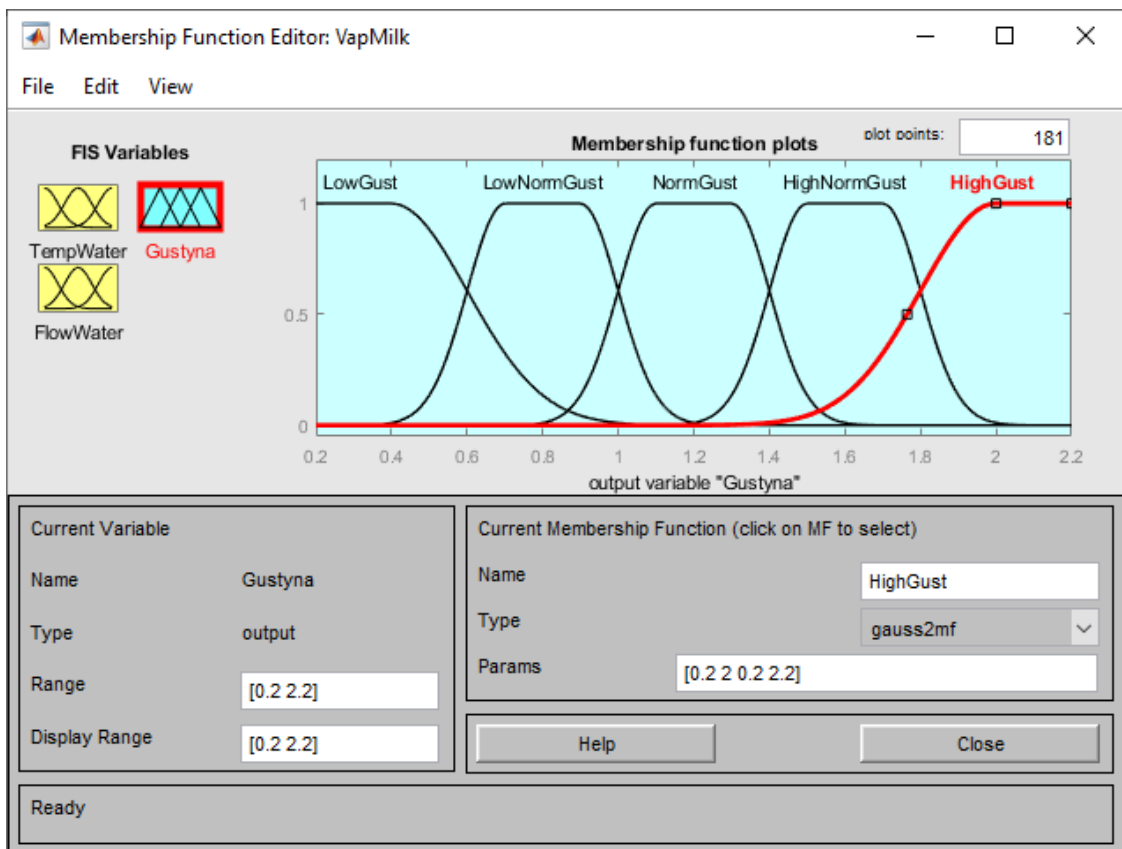


Рис. 3.4.5. Лінгвістична змінна HighGust.

Інтелектуальна підсистема оцінки якості процесу виробництва вапнякового молока на цукровому заводі (ПОЯ ВАП) функціонує за наступними розробленими правилами, що представлено на рис. 3.5.1 та 3.5.2.

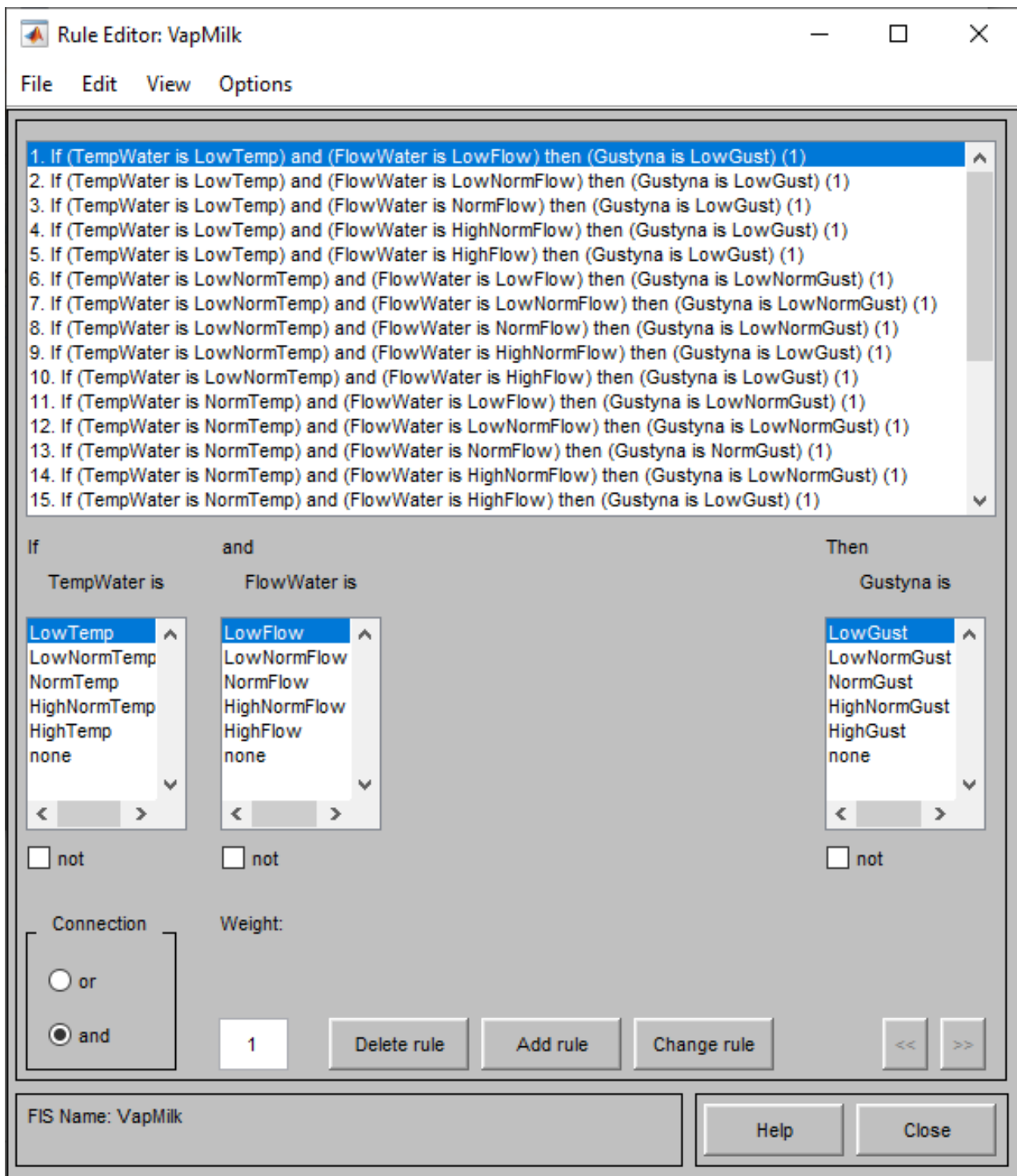


Рис. 3.5.1. База правил ШОЯ ВАП.

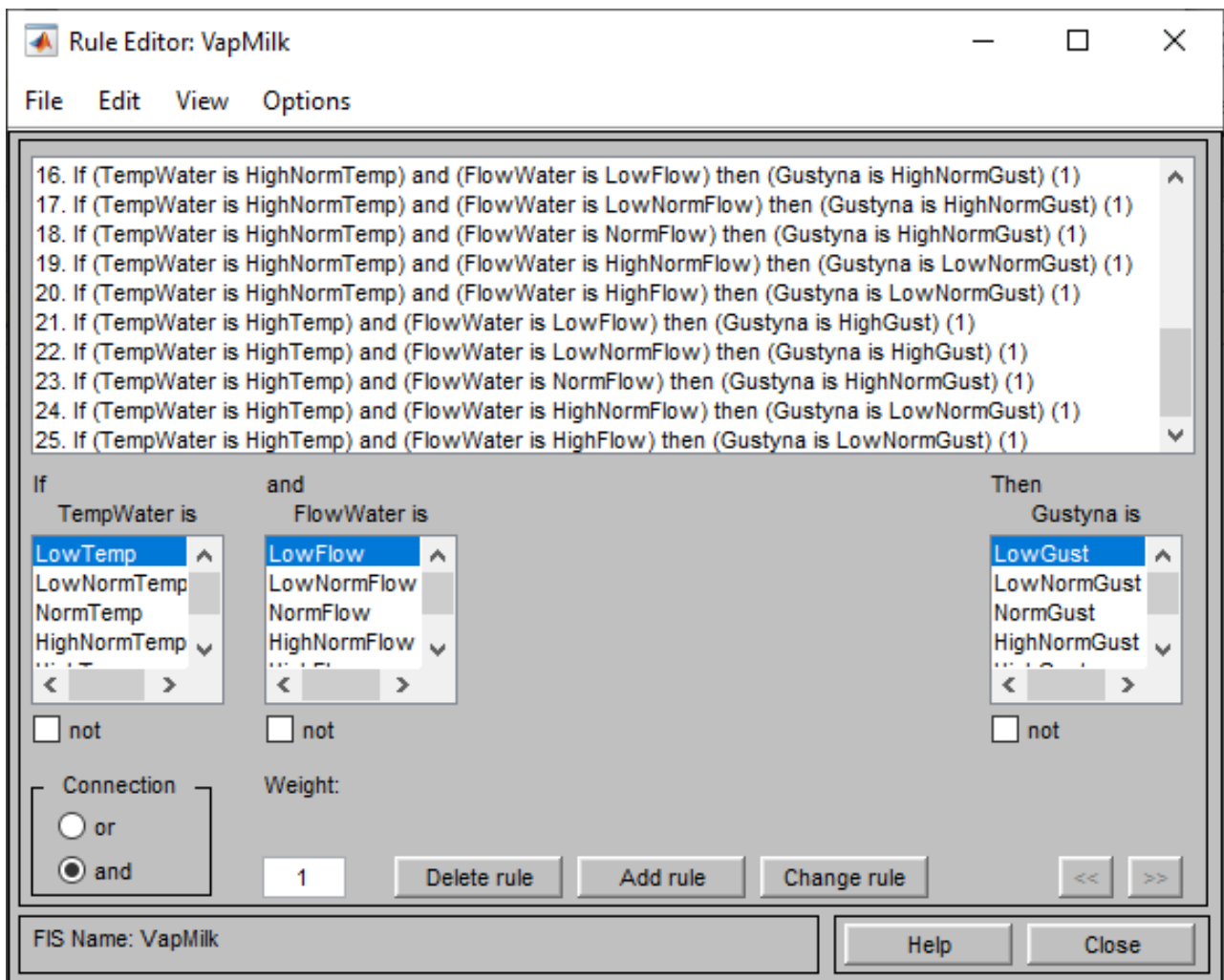


Рис. 3.5.2. База правил ІПОЯ ВАП.

Поверхня відгуку залежності густини вапнякового молока від температури та витрати води для гасіння вапна (рис. 3.6.1) отримана з

розроблених правил бази правил (ШОЯ ВАП) та вказує, як змінюється густина вапнякового молока в залежності від зміни температури та витрати води для гасіння вапна. На рис. 3.6.1. червоним кольором виділена область оптимальної густини вапнякового молока.

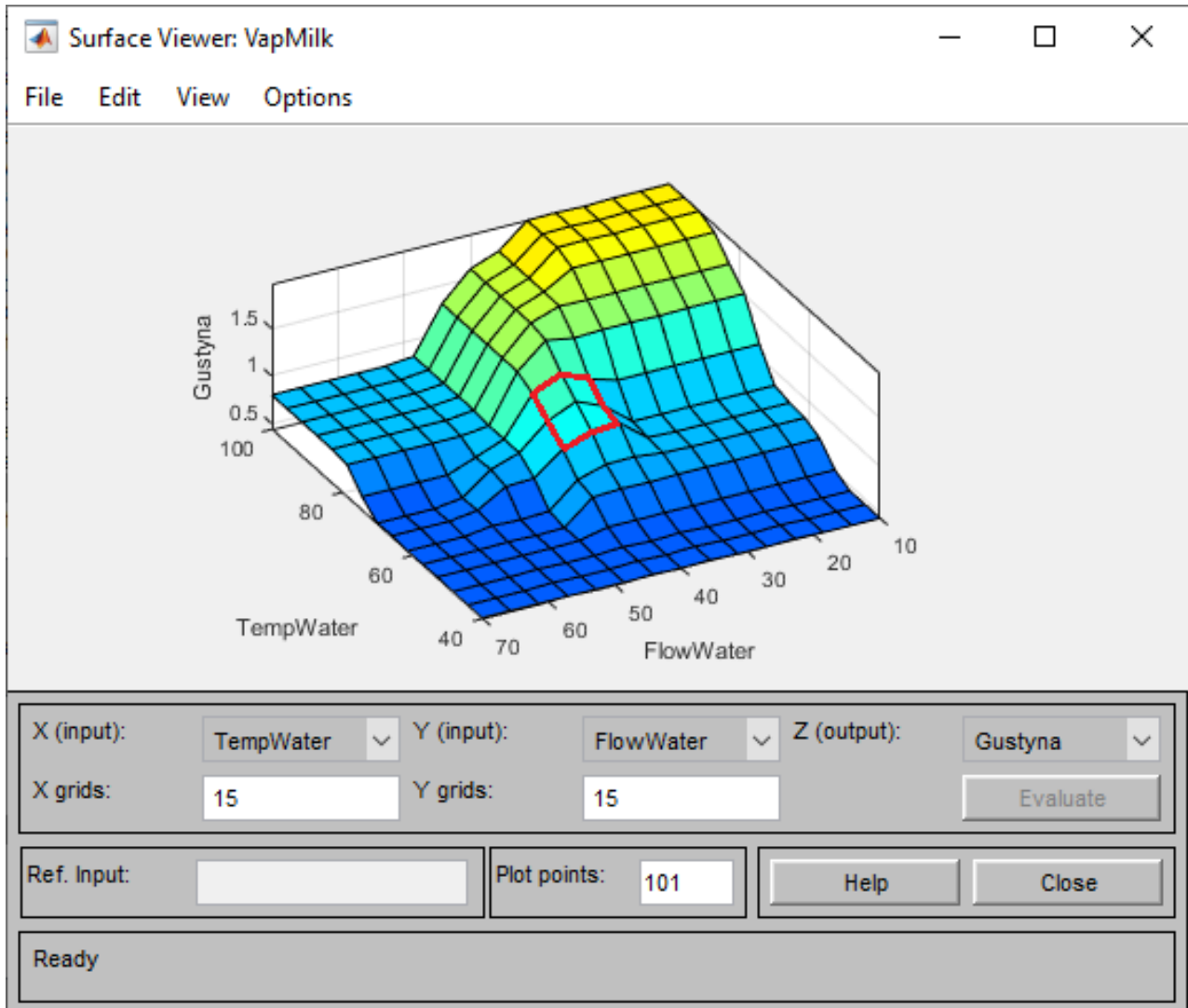


Рис. 3.6.1. Поверхня відгуку залежності густини від температури та витрати.

На рис. 3.6.2. представлено проєкцію поверхні відгуку. Червоним кольором також виділена область оптимальної густини вапнякового молока.

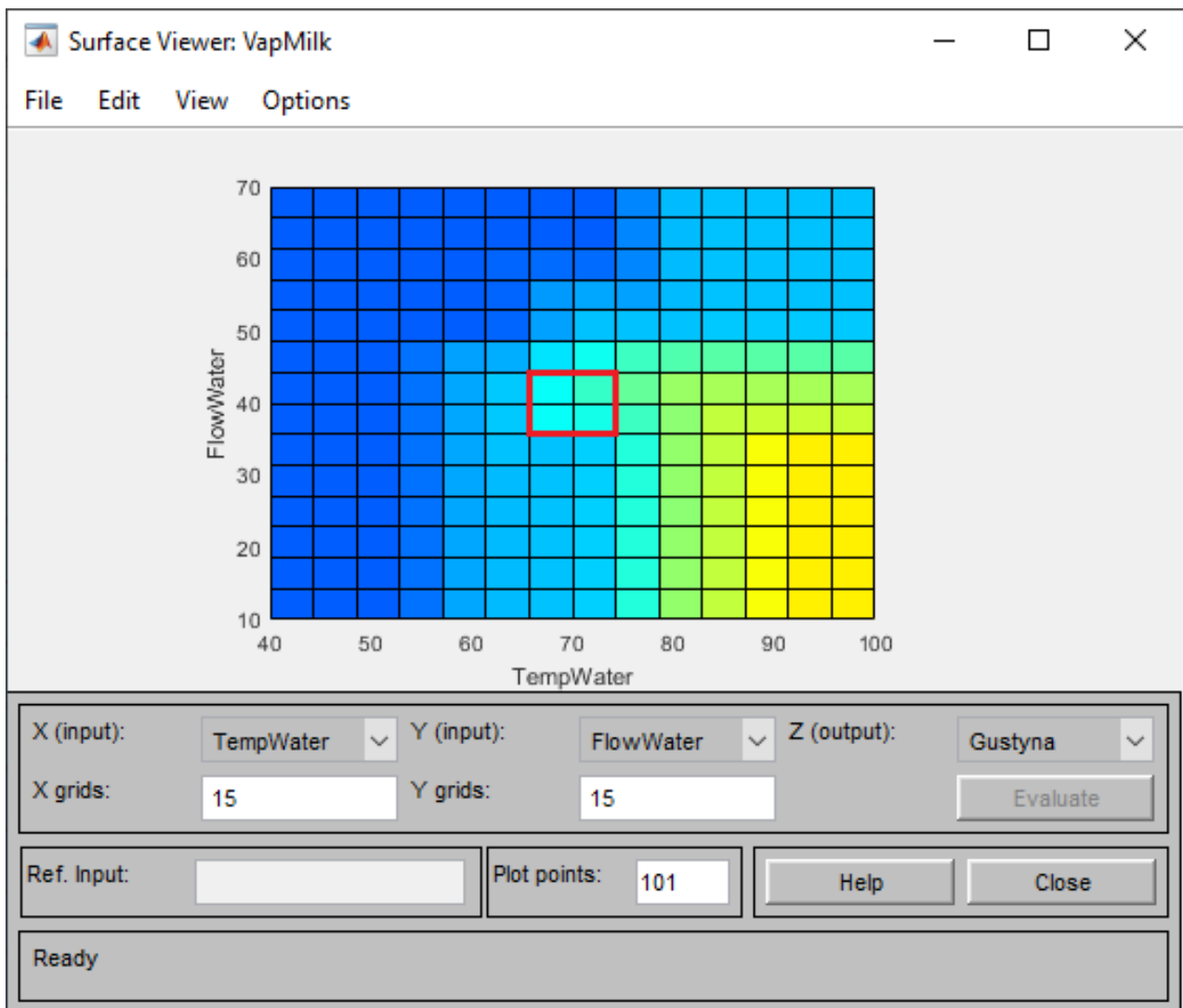



Рис. 3.6.2. Проекція поверхні відгуку.

Це застосування інтелектуальної підсистеми оцінки якості процесу (ШОЯ ВАП) в процесі гасіння вапна на цукровому заводі є важливим кроком для оптимізації та контролю виробництва вапнякового молока. Дозволяючи оператору визначати густину вапнякового молока на виході з апарату для гасіння вапна, ця підсистема створює можливість для оптимального керування технологічним процесом. Отже, впровадження цієї інтелектуальної підсистеми сприяє оптимальному керуванню технологічним процесом виробництва вапнякового молока на цукровому заводі, покращуючи ефективність та якість виробництва.

3.2. Побудова нечіткого регулятора для регулювання температури води в підігрівачу

Температура води для гасіння вапна відіграє ключову роль у досягненні оптимальної густини вапнякового молока. Тому перед процесом гасіння вапна воду підігрівають до температури 70 °С за допомогою підігрівача.

Модель підігрівача води для гасіння вапна розроблена у пакеті Simulink програмного середовища MATLAB з використанням стандартного ПІ-регулятора, який представлено на рис. 3.7. Блок TempVod встановлює температуру води, яка надходить в підігрівач, тоді як блок ZadTemp визначає завдання для регулятора на зазначене значення температури.

Блок Saturation  – використовується для обмеження керуючої дії регулятора, оскільки на вихід регулятор повинен видавати керуючу дію в діапазоні від 0 до 100 %Х.Р.О. (% ходу регулюючого органу).

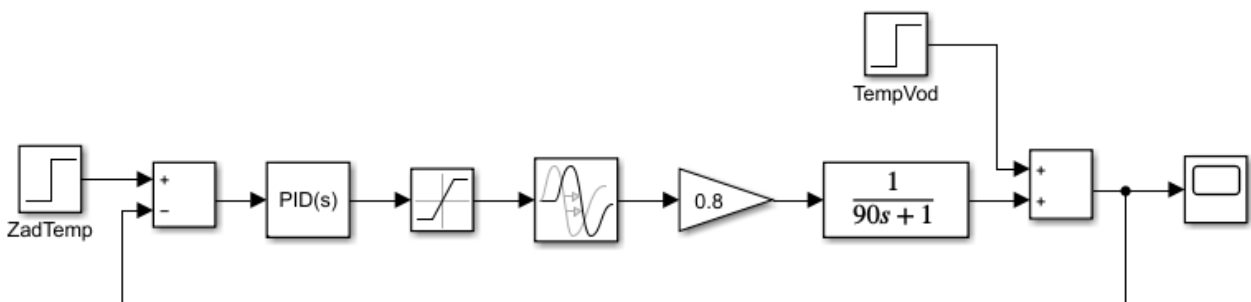


Рис. 3.7. Модель підігрівача з використанням ПІ-регулятора розроблена в пакеті Simulink.

Процес регулювання температури води для гасіння вапна в підігрівачі з використанням ПІ-регулятора відображено на рис. 3.8 через перехідний період.

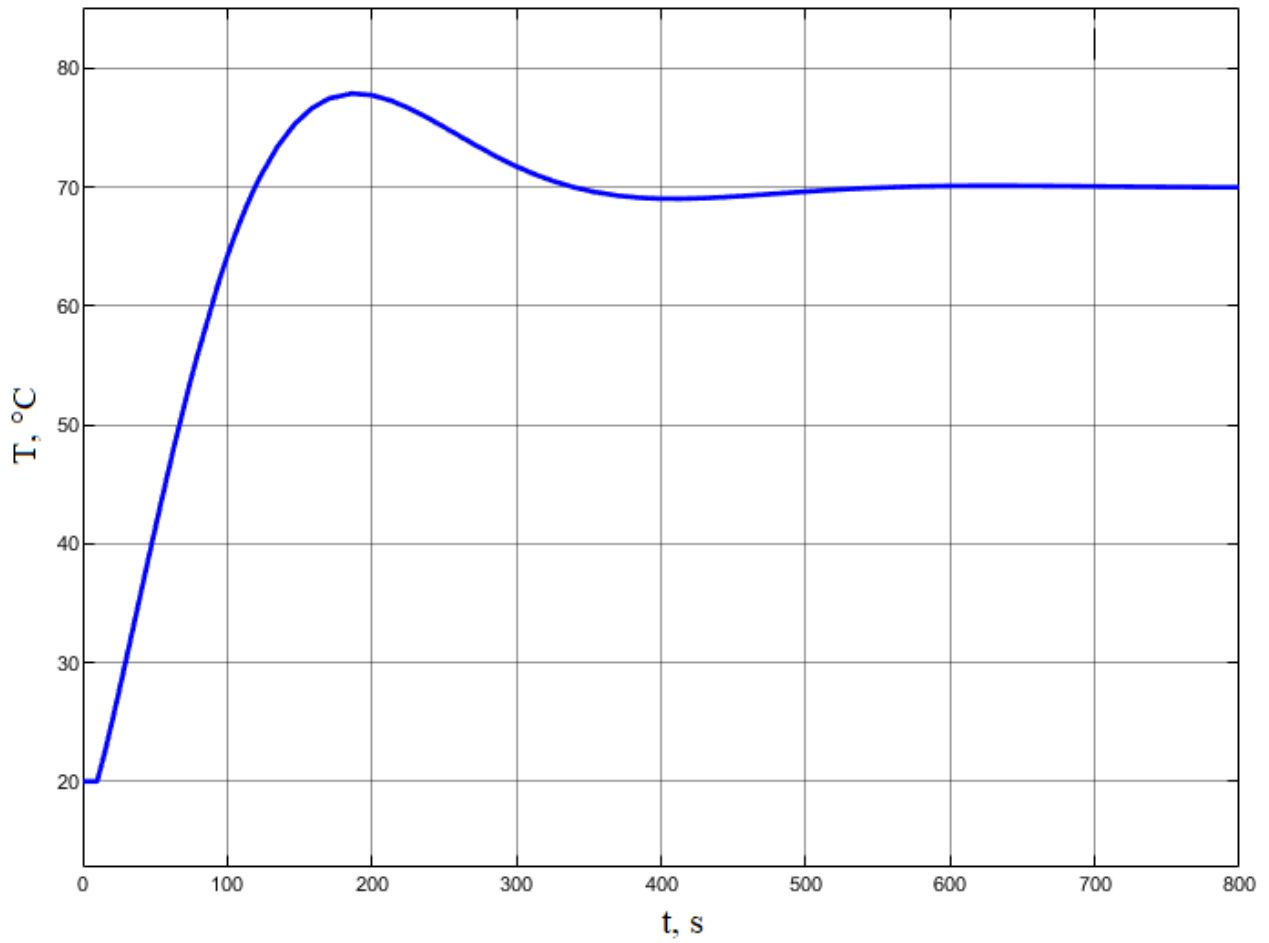


Рис. 3.8. Перехідний процес регулювання ПІ-регулятором температури води в підігрівачі.

Використання нечіткого регулятора на основі алгоритму Сугено для регулювання температури води для гасіння вапна в підігрівачі є раціональним підходом для покращення перехідного процесу в технологічному процесі. Алгоритм Сугено дозволяє створити нечіткі правила та бази правил на основі конкретних значень вхідних змінних. Структура розробленого нечіткого регулятора представлено на рис. 3.9.

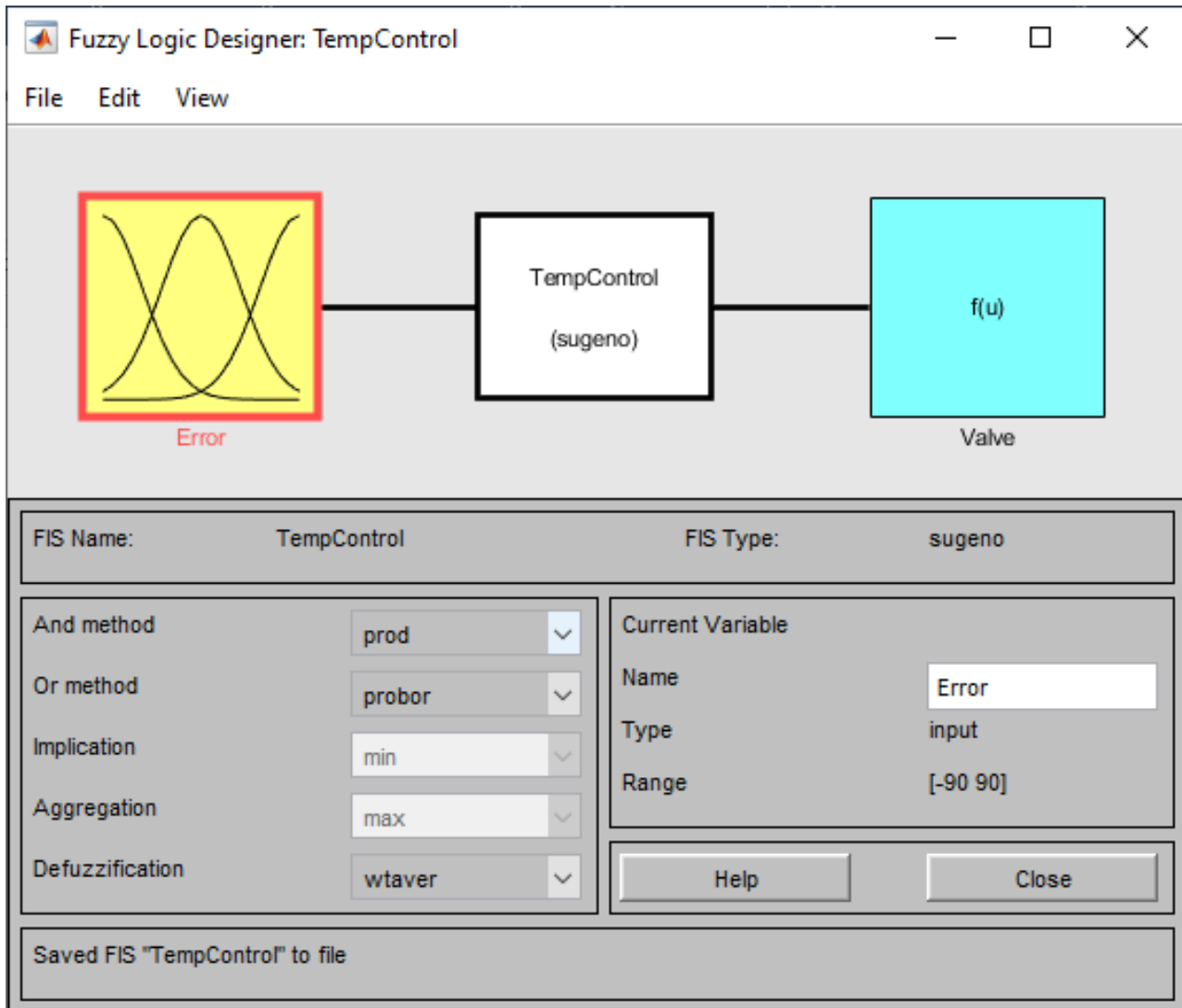


Рис. 3.9. Структура нечіткого регулятора.

На вхід нечіткого регулятора подається помилка, тобто різниця заданої та дійсної температури, а виході визначається ступінь відкриття клапану подачі пари – керуюча дія.

Лінгвістична апроксимація помилки на вході регулятора використовувала трикутну (trimf) функцію належності. Знизу подано назви змінних та параметри функції належності:

- NegError – негативна помилка, параметри функції належності: [-90 -90 2]; (рис. 3.10.1);
- Zero – нульова (задовільна) помилка, параметри функції належності: [-2 0 2]; (рис. 3.10.2);
- PosError – позитивна помилка, параметри функції належності: [2 90 90]; (рис. 3.10.3)

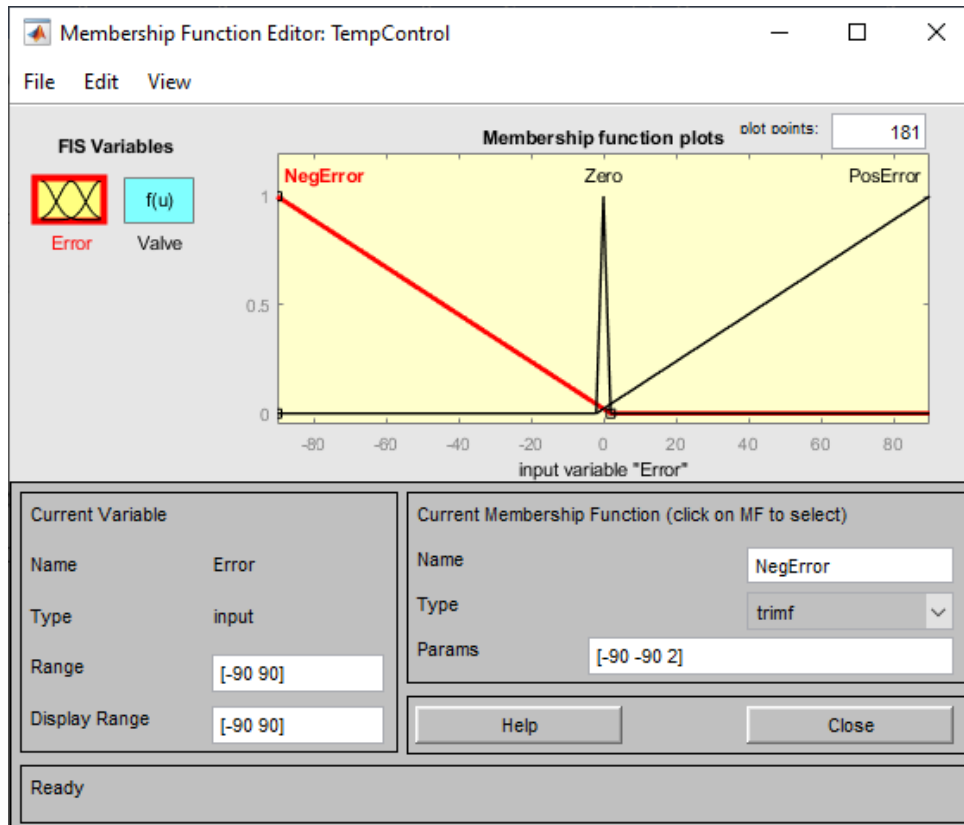


Рис. 3.10.1. Лінгвістична змінна NegError.

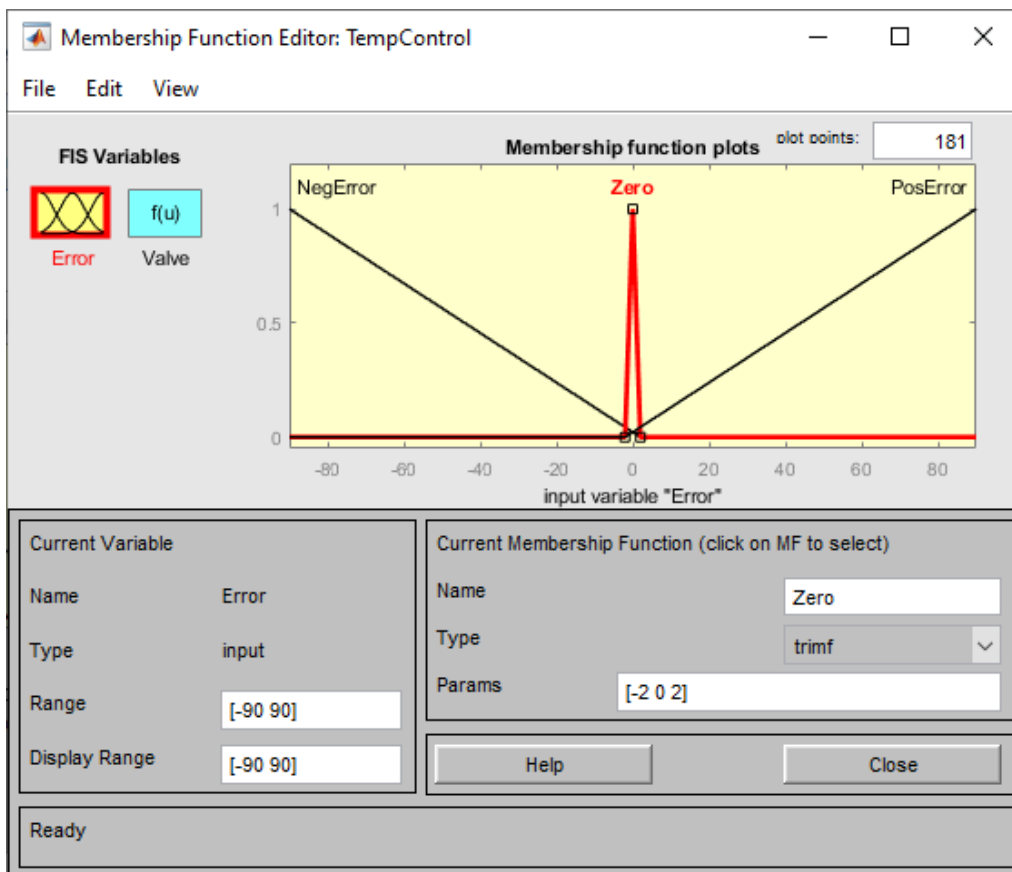


Рис. 3.10.2. Лінгвістична змінна Zero.

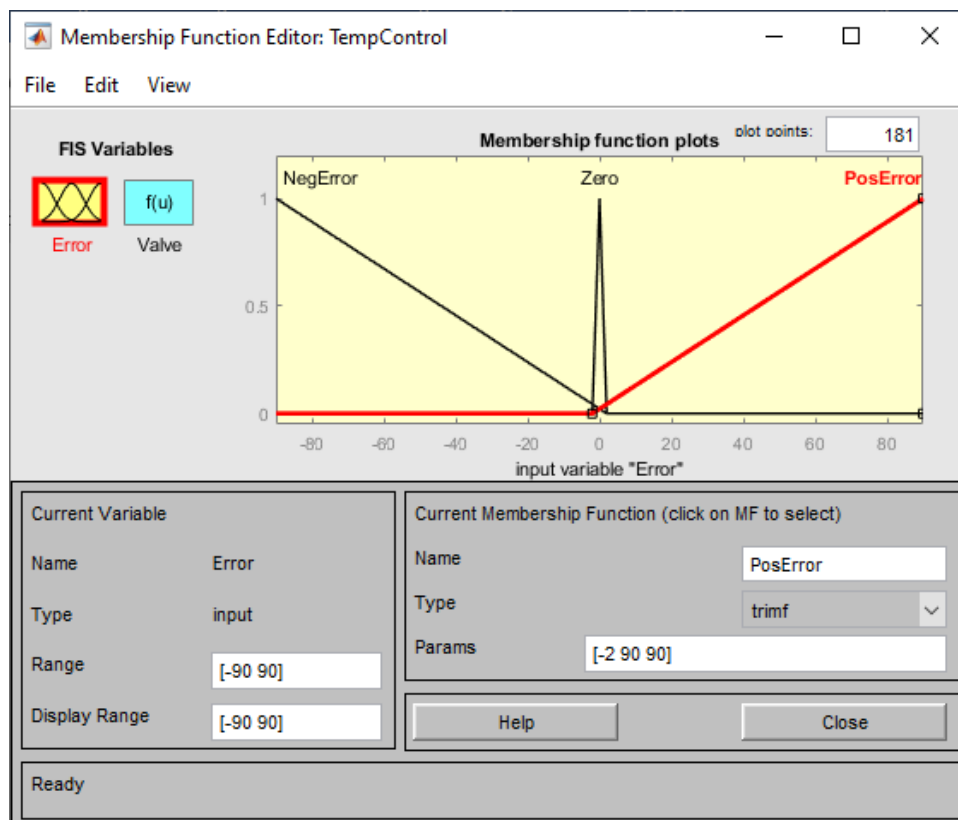


Рис. 3.10.3. Лінгвістична змінна PosError.

Лінгвістична апроксимація керуючої дії на виході регулятора проводилася за допомогою константи. Нижче описано використані назви змінних та значення константи:

- DecFlowSteam – зменшити витрату, значення: 20; (рис. 3.11.1);
- NotChange – не змінювати витрату, значення: 62; (рис. 3.11.2);
- IncFlowSteam – збільшити витрату, значення: 100; (рис. 3.11.3).

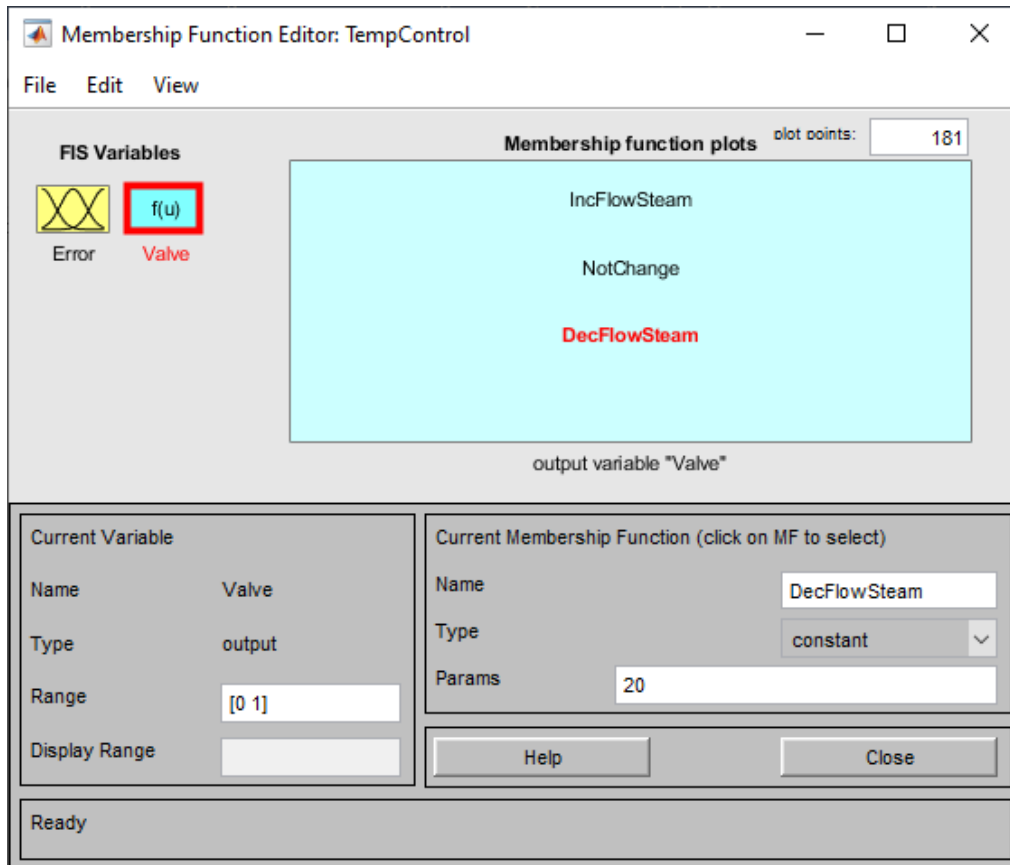


Рис. 3.11.1. Лінгвістична змінна DecFlowSteam.

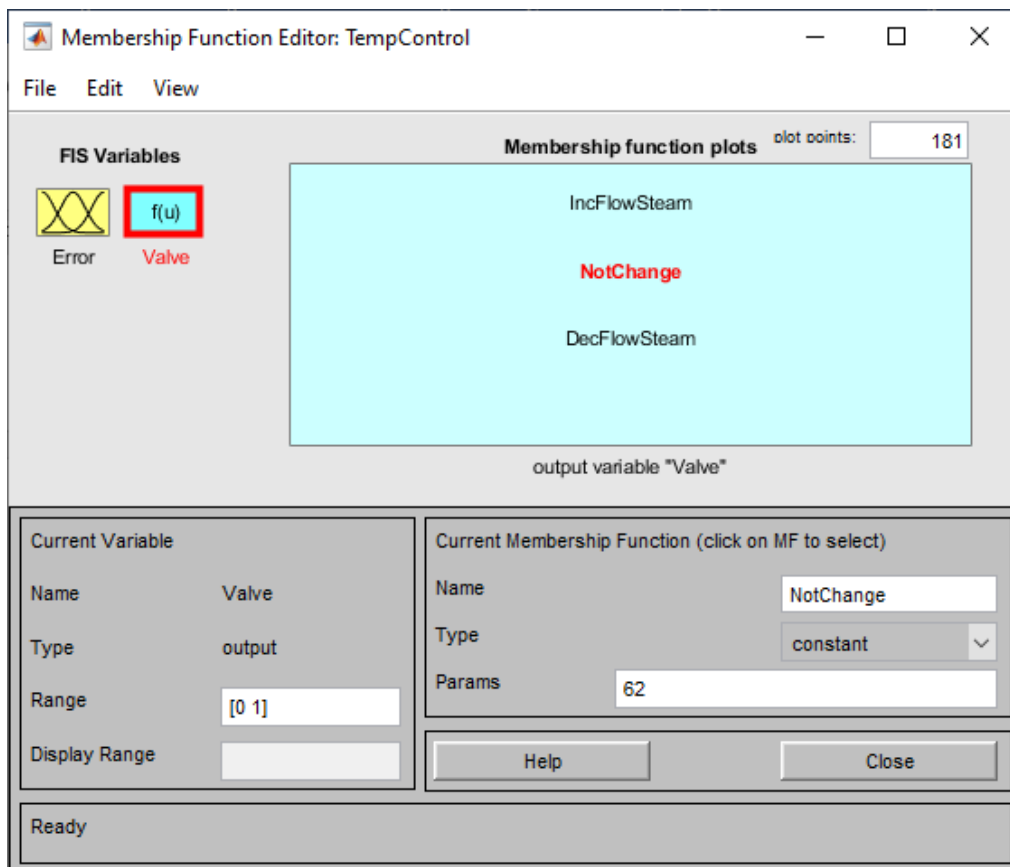


Рис. 3.11.2. Лінгвістична змінна NotChange.

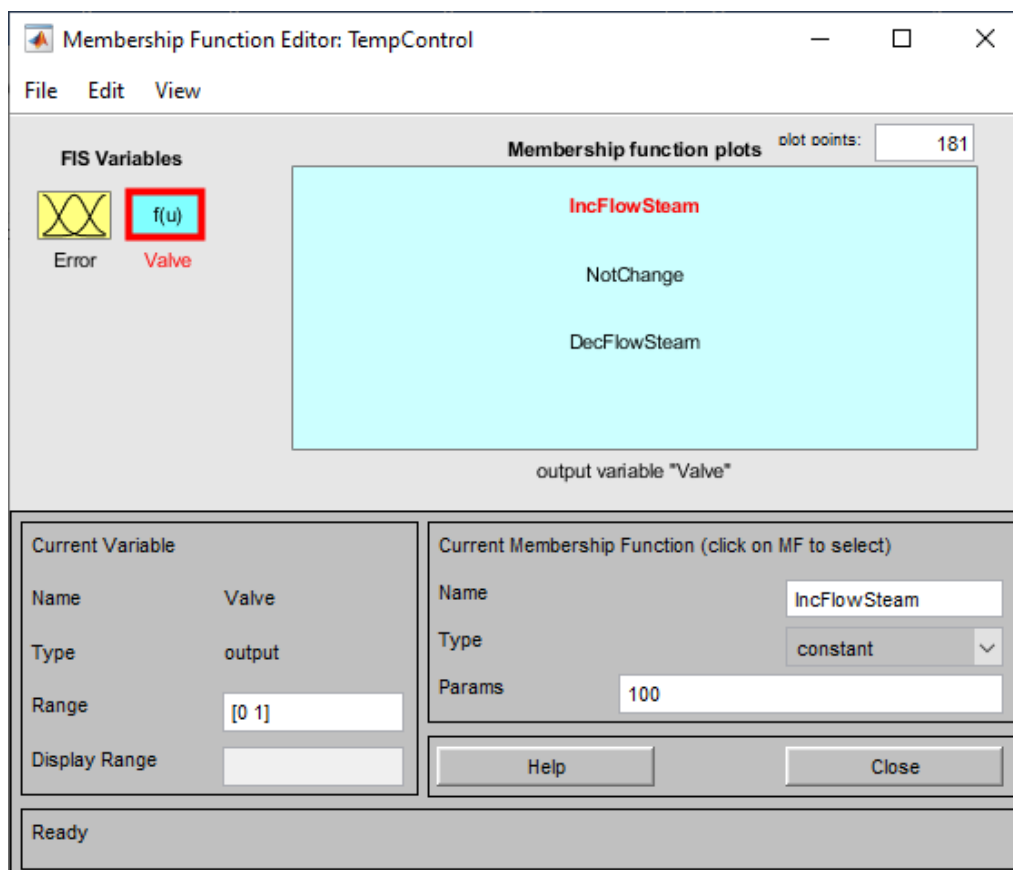


Рис. 3.11.3. Лінгвістична змінна IncFlowSteam.

Нечіткий регулятор функціонує за наступними розробленими правилами, що представлено на рис. 3.12.

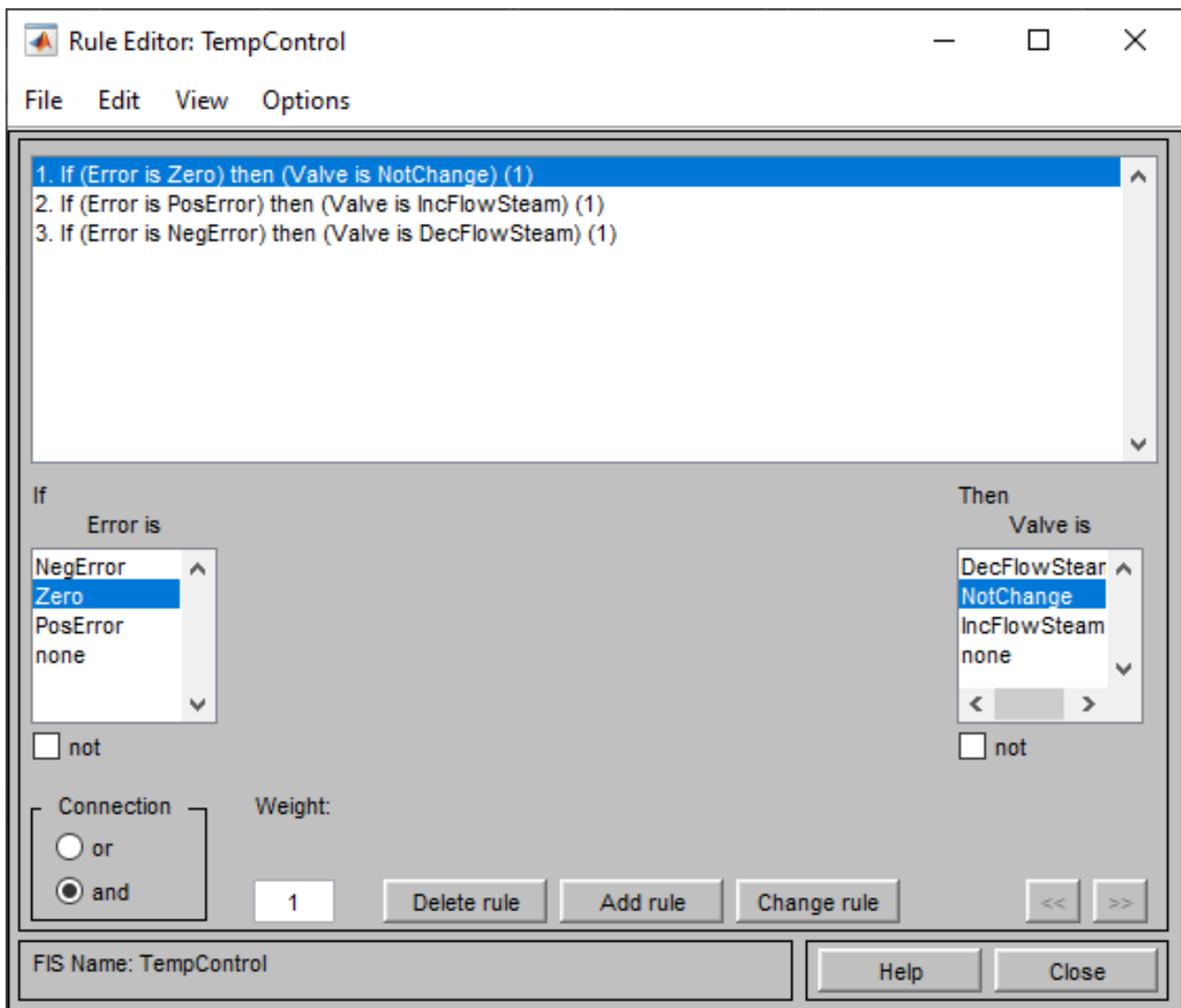


Рис. 3.12. База правил нечіткого регулятора.

Модель підігрівача води для гасіння вапна розроблена в пакеті Simulink програмного середовища MATLAB з використання нечіткого регулятора представлено на рис. 3.13.

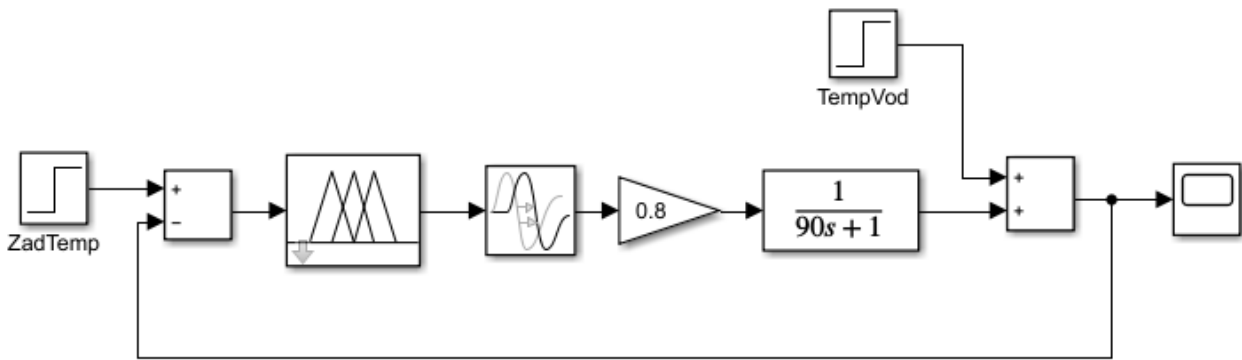


Рис. 3.13. Модель підігрівача з використанням нечіткого регулятора розроблена в пакеті Simulink.

Перехідний процес регулювання температури води для гасіння вапна в підігрівачі з використанням нечіткого регулятора представлено на рис. 3.14.

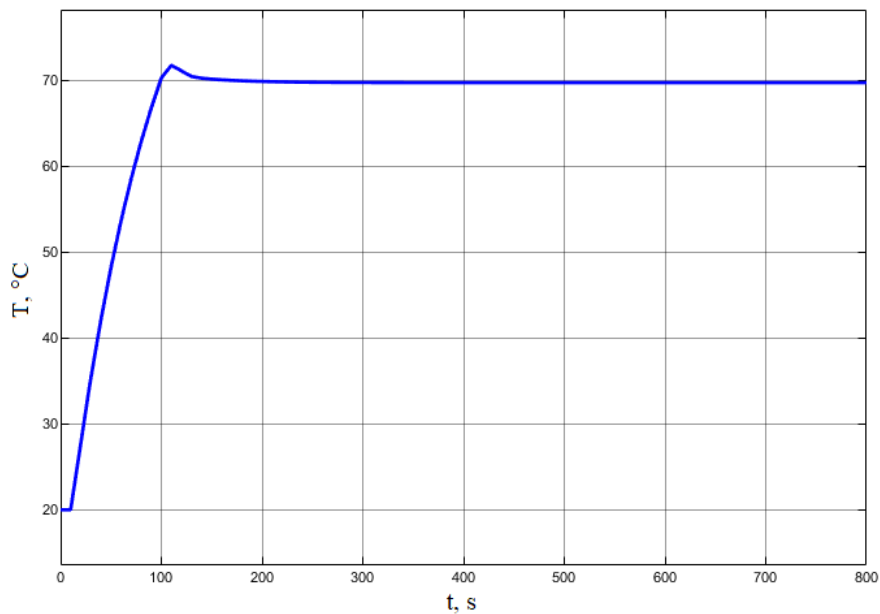


Рис. 3.14. Перехідний процес регулювання ПІ-регулятором температури води в підігрівачі.

На рис. 3.15 представлено порівняння перехідних процесів регулювання температури води для гасіння вапна в підігрівачі при використанні ПІ-регулятора та нечіткого регулятора.

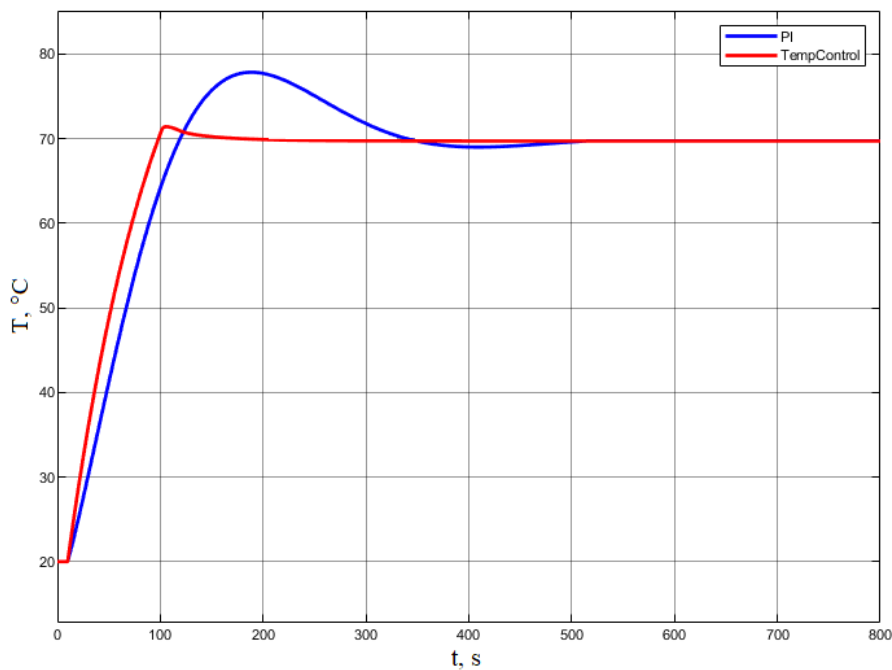


Рис. 3.15. Порівняння перехідних процесів регулювання з використанням ПІ-регулятора та нечіткого регулятора.

Отримані результати порівняння перехідних процесів регулювання температури води свідчать про переваги використання нечіткого регулятора у порівнянні з ПІ-регулятором. Нижче подано деякі можливі пояснення для вказаних вами висновків:

1. Зменшення динамічної похибки:

- Нечіткий регулятор може ефективно адаптуватися до різних умов та змін в системі, що дозволяє зменшити динамічну похибку. Враховуючи нечіткі правила та базу правил, система може більш гнучко реагувати на зміни параметрів та умов виробництва.

2. Скорочення часу перехідного процесу:

- Нечіткий регулятор може забезпечити швидше та ефективніше реагування на зміни у вихідних параметрах. Будучи адаптивним до змін, нечіткий регулятор може оптимізувати роботу системи та скорочувати час перехідного процесу.

Ці результати підтверджують ефективність та переваги застосування нечіткого регулятора для регулювання температури води. Цей підхід особливо корисний в ситуаціях, де система має нелінійність, або коли важко визначити точні параметри для ПІ-регулятора. Використання нечіткого регулятора може сприяти більш точному та швидкому реагуванню на зміни у виробництві.

Висновки

У магістерській роботі був виконаний аналіз технології виробництва вапнякового молока на цукровому заводі та існуючих систем автоматизації цього процесу. Розроблено систему автоматизації для виробництва вапнякового молока з використанням передових технічних рішень і програмованого логічного контролера Schneider Electric Modicon M340. Також створено діаграми за допомогою мови SysML для детального опису інтелектуалізованих функцій системи.

В рамках роботи розроблено інтелектуальну підсистему, що оцінює якість виробництва вапнякового молока на заводі (ШОЯ ВАП). Ця підсистема призначена для надання оператору актуальної інформації щодо якості пройденого процесу виробництва.

Додатково, використання нечіткого регулятора для контролю температури води у підігрівачі дозволило зменшити динамічну похибку перехідного процесу та скоротити час регулювання порівняно із застосуванням ПІ-регулятора.

Результатом роботи є розроблена автоматизована система виробництва вапнякового молока, спільно з інтелектуальною підсистемою, що дозволяє отримувати вапнякове молоко з оптимальною густини. Це важливо для ефективного проведення дефекації та сатурації, спрямованих на зменшення кількості нецукрів у дифузійному соку.

Список використаної літератури

1. Луцька Н.М. Сучасні технології проектування інтелектуальних систем керування [Електронний ресурс] конспект лекцій для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньо-професійної програми «Інтелектуальні комп'ютерні системи керування» денної та заочної форм навчання / Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк К.: НУХТ, 2019. – 117 с.
2. Методичні рекомендації до виконання випускної кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Інтелектуальні комп'ютерні системи керування» денної та заочної форм навчання / Уклад.: А.П. Ладанюк, Н.М. Луцька, Я.В. Смітюх, В.Д. Кишенько.[Електронний ресурс]. – К. : НУХТ, 2020. – 70 с.
3. Проектування систем автоматизації галузі [Електронний ресурс]: Метод. рекомендації до викон. курс. проекту для студ. освітнього ступеня «магістр» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» спеціалізації «Інтелектуальні комп'ютерні системи керування» ден. форм навч. / уклад.: Трегуб В.Г., Луцька Н.М., А.П. Ладанюк. – К.: НУХТ, 2017. – 48 с.
4. Про КРІ та ОЕЕ. Загальні розрахунки згідно ISO 22400-2. URL: <http://www.slideshare.net/pupenasan/kpi-oee>.
5. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навч. посібник / О.М. Пупена, І.В. Ельперін, Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк. – К.: Ліра-К, 2011. – 552 с.
6. Пупена О.М. [Електронний ресурс]: Автоматизовані системи управління виробництвом (MES-рівень): курс лекцій для студ. освіт. ст. "магістр" спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" спеціалізації "Інтегровані автоматизовані системи управління " денної та заочної форм навчання / О.М. Пупена, Р.М. Міркевич. – К.: НУХТ, 2016. – 135 с.

7. Трегуб В.Г. Автоматизація об'єктів періодичної дії: [підручник] / В.Г. Трегуб. – К.: Ліра-К, 2016. – 136 с.
8. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: навч. посібник / В.Г. Трегуб. – К.: Ліра-К, 2014.
9. Волошин З.С. Автоматизація сахарного виробництва / З.С. Волошин, Л.П. Макаренко, П.В. Яцковский // 2-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Агропромиздат. – 1990. – 271с.
10. Ельперін І.В. Промислові контролери: Навчальний посібник / І.В. Ельперін // К.: НУХТ. – 2003. – 320 с.
11. 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.
12. Гайсинский сахарний завод (Україна). URL:
<https://techinservice.com.ua/projects/gajsinskij-saharnyj-zavod-ukraina/>
13. Турбіновий витратомір з цифровим дисплеєм TUR-2..К. URL:
<https://kobold.com/dynamic/dlFile/b7a12479e850eeb8cafcf43a5e9c233c/tur-gb-flow.pdf>
14. Електродвигун АИР90L2. URL: <https://systemax.com.ua/p22563502-elektrodvigatel-air90l2-air.html>
15. Grundfos TP 150-110/6. URL:
https://nasos-m.com.ua/nasosi/grundfos_tp_150-110_6.html
16. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навч. посібник / О.М. Пупена, І.В. Ельперін, Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк. – К.: Ліра-К, 2011. – 552 с.
17. Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій: підручник / Б.М. Гончаренко, А.П. Ладанюк. — К. : НУХТ, 2014. – 600 с.
18. Системний аналіз складних систем управління: навчальний посібник / А.П. Ладанюк, Я.В. Смітюх, Л.О. Власенко, Н.А. Заєць, І.В. Ельперін. – К., НУХТ, 2013. – 276 с.

19. Ладанюк А.П. Конспект лекцій з дисципліни «Теорія автоматичного керування», ч.1 / А.П. Ладанюк. – К.: НУХТ, 2004. – 184 с.
20. Ладанюк А.П. Конспект лекцій з дисципліни «Теорія автоматичного керування», ч.2 / А.П. Ладанюк. – К.: НУХТ, 2005. – 115 с.
21. Гончаренко Б.М. Цифрові системи керування: навчальний посібник / Б.М. Гончаренко, О.П. Лобок, А.П. Ладанюк. – Вінниця: Нова книга, 2007.–160 с.
22. Автоматизоване управління технологічними процесами. Конспект лекцій до вивчення дисципліни для студентів спеціальності 6.08040 „Інформаційні управляючі системи та технології” напряму підготовки 0804 “Комп’ютерні науки” ден. та заоч. форм навчання/ Уклад.: І.В.Ельперін, С.М.Швед – К: НУХТ, 2007. – 71 с.
23. Луцька Н.М. Оптимальні та робастні системи керування технологічними об’єктами : монографія / Н.М.Луцька, А.П.Ладанюк. – К. : Видавництво Ліра-К, 2015. – 288 с.
24. Пупена О.М. Контролери та їх програмне забезпечення. Курс лекцій для студ. напр. 6.50202 "Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології" денної та заочної форм навчання. Частина 3. / О.М. Пупена, І.В. Ельперін. – К.: НУХТ, 2011. – 48 с.
25. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: навчальний посібник / А.М. Пупена, І.В. Ельперін, Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк. – К.: Вид-во «Ліра-К», 2011. – 552 с.
26. Пупена О.М. Програмування промислових контролерів у середовищі UNITY PRO: Навч. посібник / О.М. Пупена, І.В. Ельперін. – К.: Видавництво Ліра – К, 2013. – 376 с.
27. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології: курс лекцій для студ. напряму 6.050202 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання. / О.М. Пупена. – К.: НУХТ, 2011. – 67 с.

28. Ладанюк А.П. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування) : монографія / А.П.Ладанюк, Заєць Н.А., Л.О.Власенко. – К. : Видавництво Ліра-К, 2016. – 312 с.
29. Інноваційні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу: монографія / А.П. Ладанюк, В.М. Решетюк, В.Д. Кишенько, Я.В. Смітюх. – Київ: Центр учбової літератури, 2014. – 280 с.
30. Оптимізація процесів переробки сільськогосподарської сировини: монографія / В.О. Мірошник В.О., М.А. Гачковська, В.Д.Кишенько, О.В. Грабовська.– К.:ЦП “Компринт”, 2019.– 479 с.
31. Кишенько В.Д. Ідентифікація та моделювання об'єктів автоматизації: конспект лекцій для студ. спец. 6.092500 "Автоматизовані системи управління технологічними процесами", 6.092500 "Комп'ютерно-інтегровані процеси та виробництва" напряму 0925 ден. та заоч. форм навч. / В. Д. Кишенько. – К. : НУХТ, 2007. — 102 с.
32. Кишенько В.Д. Інтелектуальні системи: конспект лекцій для студ. спец. 6.092500 "Автоматизовані системи управління технологічними", 6.092500 "Комп'ютерно-інтегровані процеси та виробництва" напряму 0925 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навч. / В. Д. Кишенько. – К. : НУХТ, 2008. — 133 с.
33. Кишенько В.Д. Інтелектуальні системи. Практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник / В. Д. Кишенько, Ю. О. Самойленко, Я. В. Смітюх. – Київ : НУХТ, 2017. — 67 с.
34. Кишенько В.Д. Моделювання систем [Електронний ресурс]: конспект лекцій для студ. освіт. ступ. "Магістр" спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" спеціал. "Автоматизація та інтелектуальні системи керування технологічними комплексами" ден. форми навч. / В. Д. Кишенько. – К. : НУХТ, 2016. — 205 с.

35. Романов М.С. Синергетичні основи сталого інноваційного розвитку харчової промисловості: концептуальний підхід, наукове видання / М.С. Романов. – К.: НУХТ, 2019. – 71 с.
36. Tanaka K, Takayuki I & Wang H (1996), “Проектування нечітких систем управління. На основі умов розслабленої стійкості LMI », зб. 35-й. CDC, Кобе. р. 598-603
37. Бойд S, Ghaoui L, Feron E та V Balakrishnan (1994), “Лінійні нерівності матриці в теорії системи та управління”, SIAM. Філадельфія
38. Patton R J & Frank P M & Clark R N (1989), Діагностика несправностей у динамічних системах: теорія та застосування, Prentice Hall.
39. <https://www.industrialmeeting.club/processing-line-for-cheese-fully-automated-solution/>
40. <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/cheese> структурна схема
41. https://www.researchgate.net/figure/Architecture-of-Intelligent-Control-System-APP-application-software-is-divided-into-three_fig1_335082107 [5]
42. THE INDUSTRIAL COMMUNICATION SYSTEMS PROFIBUS AND PROFINet [6] Institute of Control and Industrial Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Information Technology STU, Ilkovičova 3, Bratislava, SK-812 19, Slovak Republic (igor.belai@stuba.sk, peter.drahos@stuba.sk)
43. Зігунов, О. М. Фрактальний аналіз задачі прогнозування тенденції розвитку процесу екстрагування цукру / О. М. Зігунов, В. Д. Кишенько// Наукові нотатки. – Луцьк: ЛНТУ, 2010 - С.116-122
44. Про KPI та ОЕЕ. Загальні розрахунки згідно ISO 22400-2. URL: <http://www.slideshare.net/pupenasan/kpi-oee>.
45. Проектування систем автоматизації галузі [Електронний ресурс]: Метод. рекомендації до викон. курс. проекту для студ. освітнього ступеня «магістр» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» спеціалізації «Інтелектуальні комп'ютерні системи керування»

ден. форм навч. / уклад.: Трегуб В.Г., Луцька Н.М., А.П. Ладанюк. – К.: НУХТ, 2017. – 48 с.

46. Кишенько, В. Д. Інтелектуальне управління технологічними комплексами на основі сценарного підходу / В. Д. Кишенько, Я. В. Смітюх, М. Д. Місюра // Тези доповідей учасників Міжнародної науково – практичної конференції “Інтелектуальні системи прийняття рішень та інформаційні технології”, м. Чернівці, 2004р. - С. 19-20.
47. A Practical Guide to SysML. The Systems Modeling Language. 2-d ed/ /Sanford Friedenthal, Alan Moore, Rick Steiner, Elsevier Inc. 2012.
48. Глибовець М.М. Штучний інтелект [Текст]: Підручник/ М.М. Глибовець, О.В. Олецький. – К.: КМ Академія, 2002. – 366 с.
49. Дубровін В.І. Методи оптимізації та їх застосування в задачах навчання нейронних мереж [Текст]: Навчальний посібник/ В.І. Дубровін, С.О. Субботін. —Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. —136 с.
50. Зайченко Ю.П. Основи проектування інтелектуальних систем [Текст]: навчальний посібник/ Ю.П. Зайченко. — К.: Слово, 2004. — 352 с.
51. Кишенько В.Д. Інтелектуальні системи [Текст]: конспект лекцій для студ. напряму 0925 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навч./ В.Д. Кишенько – К.:НУХТ, 2008. –133 с.
52. Куссуль Н.М. Інтелектуальні обчислення [Текст]: навч. посібник/ Н.М. Куссуль., А.Ю. Шелестов., А.М. Лавренюк. –К.: “Наукова думка”, 2006. — 186 с.
53. Литвин В. В. Бази знань інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень [Текст]/ В. В. Литвин . — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. —240 с.