

**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»
Директор інституту(декан факультету)
_____ Андрій ФОРСЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 20__ р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Ярослав СМІТЮХ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 20__ 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: Автоматизована система управління технологічним комплексом
цукрового заводу з підсистемою випарної установки.

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

Ніколюк Євген Русланович _____ (підпис)
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)
Керівник Луцька Наталія Миколаївна _____ (підпис)
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

Консультанти _____ (підпис)
(ім'я та прізвище)
_____ (підпис)
(ім'я та прізвище)
_____ (підпис)
(ім'я та прізвище)
Рецензент _____ (підпис)
(ім'я та прізвище)

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 - 2024р.

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»
(код і назва)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри _____

“ ____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Ніколюку Євгену Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизована система управління технологічним комплексом цукрового заводу з підсистемою випарної установки

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

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “16” листопада 2023 року № 820-
Їс Строк подання здобувачем роботи 1 лютого 2024 року

3. Вихідні дані до роботи Проблематика цукрового виробництва, короткі 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. Аналітичний огляд літератури та використовувані методи при побудові систем управління. 1.1. Аналіз проблем та перспектив розвитку цукрової галузі в Україні. 1.2. Аналіз загальної характеристика автоматизованих систем управління та її частин. 1.3. Аналіз існуючих міжнародних стандартів автоматизації та їх ризивненість в Україні. 1.4. Аналіз існуючих автоматизованих систем управління випарною установкою на цукрових заводах України. Розділ 2. Загальносистемні рішення. 2.1. Загальний опис об'єкта та системи. 2.2. Розробка загальної ієрархічної моделі обладнання. 2.3. Функціональна структурна схема. 2.4. Опис функцій, що автоматизуються. 2.5. Структурна схема комплексу технічних засобів. 2.6. Інформаційне забезпечення АСУ ТП виробництва та основного відділення.

Розділ 3. Розробка підсистеми управління технологічним процесом (обладнанням). 3.1. Схема автоматизації та специфікація засобів автоматизації польового рівня. 3.2. Обґрунтування вибору технічних засобів для вимірювання, виконавчих механізмів (ВМ) та регулюючих органів (РО). 3.3. Схеми електричні принципові контурів вимірювання, управління та сигналізації. 3.4. Схема з'єднання та підключення проводок промислових мереж 3.6. Схема компонування та специфікація модулів ПЛК. Розділ 4. Спеціальне завдання. 4.1. Опис спеціального програмного забезпечення для мікропроцесорного контролера. 4.2. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога. 4.3. Комп'ютерне моделювання системи автоматичного регулювання. 4.4. Побудова інтелектуальної системи управління якістю процесу випарювання дифузійного соку на п'ятикорпусній випарній установці. Висновок. Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Функціональна схема автоматизації. 2. Принципова схема підключення датчиків та ВМ до ПЛК. 3. Інформаційна структура мережі. 4. Структурна схема комплексу технічних засобів. 5. 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 16 листопада 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Срок виконання етапів роботи	Примітка
1.	Видача та затвердження завдання	Перед переддипломною практикою	
2.	Розділ 1. Аналітичний огляд літератури та використовувані методи при побудові систем управління.	Захист переддипломної практики	
3.	Розділ 2. Загальносистемні рішення	3 тиждень	
4.	Розділ 3. Розробка підсистеми управління технологічним процесом (обладнанням)	5 тиждень	
5.	Розділ 4. Спеціальне завдання	8 тиждень	
6.	Підготовка матеріалів до захисту	11 тиждень	

Здобувач

_____ (підпис)

Євген НІКОЛЮК

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Наталія ЛУЦЬКА

_____ (прізвище та ініціали)

Анотація

Кваліфікаційна робота являє собою розробку автоматизованої системи управління технологічним комплексом цукрового заводу з підсистемою випарної установки.

В даній роботі розроблено технічна документація, котра включає в себе наступне: загальний опис об'єкта та системи; розробка загальної ієрархічної моделі обладнання; функціональну структурну системи; опис функцій, що автоматизуються; обґрунтування вибору технічних засобів для вимірювання, виконавчих механізмів та регулюючих органів; опис інформаційного забезпечення АСУТП.

Також було розроблено схему автоматизації; схему компоновання та специфікація модулів ПЛК; схему електричну принципову контурів вимірювання, управління та сигналізації; структурну схему комплексу технічних засобів АСУТП; схему з'єднання та підключення проводок промислових мереж.

Опрацьовано елементи алгоритмічного та програмного забезпечення підсистеми автоматизованого управління технологічним процесом. Програма розроблена для ПЛК Modicon M340 в програмі EcoStruxure Control Expert. Інтерфейс SCADA-програми підсистеми випарної установки розроблено в програмі Citect Studio.

Також було досліджено та проаналізовано завдання комп'ютерного моделювання, а саме виявлення оптимальних параметрів ПД-регулятора та порівняння з використанням нечіткого регулятора.

Ключові слова: цукровий завод, випарна установка, випарювання, сироп, Citect Studio, Modicon M340, регулятор.

Annotation

The qualification work is the development of an automated control system for the technological complex of a sugar factory with a subsystem of an evaporation plant.

In this work, technical documentation was developed, which includes the following: a general description of the object and system; development of a general hierarchical model of equipment; functional structural system; description of automated functions; justification of the choice of technical means for measurement, executive mechanisms and regulatory bodies; description of the information support of ACSTP.

An automation scheme was also developed; layout diagram and specification of PLC modules; electrical schematic diagram of measuring, control and signaling circuits; the structural diagram of the complex of technical means of the automatic control system; connection diagram and wiring of industrial networks.

The algorithmic and software elements of the subsystem of the automated control of the technological process have been worked out. The program is developed for the Modicon M340 PLC in the EcoStruxure Control Expert program. The SCADA program interface of the evaporator subsystem will be developed in the Citect Studio program.

The task of computer modeling was also investigated and analyzed, namely the identification of the optimal parameters of the PID controller and comparison with the use of a fuzzy controller.

Key words: sugar plant, evaporation plant, evaporation, syrup, Citect Studio, Modicon M340, regulator.

Зміст

Вступ.....	8
Розділ 1. Аналітичний огляд літератури та використовувані методи при побудові систем управління.....	10
1.1. Аналіз стану та перспективи розвитку цукрових заводів в Україні ...	10
1.2. Аналіз загальної характеристики автоматизованих систем управління та її частин	17
1.3. Аналіз існуючих міжнародних стандартів автоматизації та їх розвиненість в Україні.....	28
1.4. Аналіз існуючих автоматизованих систем управління випарною установкою на цукрових заводах України	31
Розділ 2. Загальносистемні рішення	37
2.1. Загальний опис об'єкту та системи.....	37
2.2. Розробка загальної ієрархічної моделі обладнання.....	45
2.3. Функціональна структурна схема	47
2.4. Опис функцій, що автоматизуються	49
2.5. Структурна схема комплексу технічних засобів	52
2.6. Інформаційне забезпечення АСУ ТП виробництва та основного відділення.....	57
Розділ 3. Розробка підсистеми управління технологічним процесом (обладнанням).....	59
3.1. Схема автоматизації та специфікація засобів автоматизації польового рівня	59

3.2. Обґрунтування вибору технічних засобів для вимірювання, виконавчих механізмів (ВМ) та регулюючих органів (РО).....	62
3.3. Схеми електричні принципові контурів вимірювання, управління та сигналізації	97
3.4. Схема з'єднання та підключення проводок промислових мереж.....	98
3.5. Схема компонування та специфікація модулів ПЛК	100
Розділ 4. Спеціальне завдання	107
4.1. Опис спеціального програмного забезпечення для мікропроцесорного контролера	107
4.2. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога	128
4.3. Комп'ютерне моделювання системи автоматичного регулювання.....	134
4.4. Побудова інтелектуальної системи управління якістю процесом випарювання дифузійного соку на п'ятикорпусній випарній установці ...	145
Висновок	174

Вступ

На поточній стадії розвитку харчової промисловості відбувається значне вдосконалення обладнання та методів виробництва за допомогою реалізації передових технологічних схем, використання новосучасного обладнання та здобувати навички прогресивного досвіду. Це сприяє вирішенню численних технологічних проблем, що врешті-решт призводить до зменшення виробничих витрат та значною мірою підвищити характеристики якості готової продукції.

Автоматизація повсюдно рахується головним, найбільш перспективним напрямком в розвитку промислового виробництва. Завдяки звільненню людини від безпосередньої участі у виробничих процесах, а також високій концентрації основних операцій значно поліпшуються умови праці і економічні показники виробництва.

Автоматизація виробничих процесів зв'язана з випусканням ряду автоматичних пристроїв. В масовому виробництві ці пристрої спеціалізовані. В серійному виробництві доводиться користуватися універсальними автоматичними пристроями, що потребують перенастройки або переналагодження, що викликає більшу витрату невиробничого часу.

Тому в останні роки більша увага надається "гнучкості" автоматичного обладнання, досягненої шляхом широкого використання принципів агрегування і програмного управління, що веде за собою поступове ускладнення конструкції.

До основних задач механізації і автоматизації виробництва в даний час відносять перехід до масового вживання високоефективних систем машин і технологічних процесів, що забезпечують комплексну механізацію і автоматизацію виробничого процесу; посприяти підняттю технічної переозброєності праці, неухильно скорочувати у всіх галузях чисельність працівників, зайнятих ручною працею; забезпечити зростання випуску закінчених

систем машин для комплексної механізації і автоматизації навантажувально-розвантажувальних, складських і ремонтних робіт; поліпшити використання рухомого складу, добитися ритмічності вантаження і вивантаження вантажів.

Кінцевою метою комплексної автоматизації є створення інформаційної бази, яка б сприяла прийняттю управлінських рішень, вибору стратегії на основі аналізу господарської діяльності за різними показниками та досягненню конкурентоздатності підприємства.

Розділ 1. Аналітичний огляд літератури та використовувані методи при побудові систем управління

1.1. Аналіз стану та перспективи розвитку цукрових заводів в Україні

Розбудова української держави тісно пов'язана зі становленням ринкової національної економіки. Започатковані у 90-х рр. ХХ ст. Урядом України ринкові перетворення в економіці, передбачали вирішення ряду нових проблем, котрі, у свою чергу, зумовили переосмислення концептуальних основ теорії та практики ведення народного господарства.

В рамках цих трансформацій однією з найгостріших стала проблема становлення, функціонування та розвитку монопродуктового ринку - ринку цукру.[5]

Бурякоцукрова галузь є однією зі стратегічно важливих галузей харчової промисловості України, яка за кількістю підприємств, рівнем технічного оснащення, виробничою потужністю, забезпеченням кваліфікованими працівниками, а також за обсягом виробленої продукції посідає одне з провідних місць в економіці держави.

Бурякоцукрова галузь об'єднує в собі виробників насіння, цукрових буряків, насіннєві заводи, цукрові заводи та сервісні підприємства галузі. Кінцевим продуктом цього величезного агропромислового комплексу є цукор в асортименті, а також побічна продукція - меляса (патока), жом, вапно. [8]

На початку 1990-х рр. цукрова галузь мала величезний виробничий потенціал. В Україні налічувалося 192 цукрових заводи, які виробляли майже 13% бурякового цукру в світі, при цьому щорічно переробляючи понад 40 млн. тонн цукрових буряків. [13]

Беручи офіційні джерела, котрі займаються розрахунковими даними можна проаналізувати стан виробництва та переробки цукрових буряків на 2022 рік.

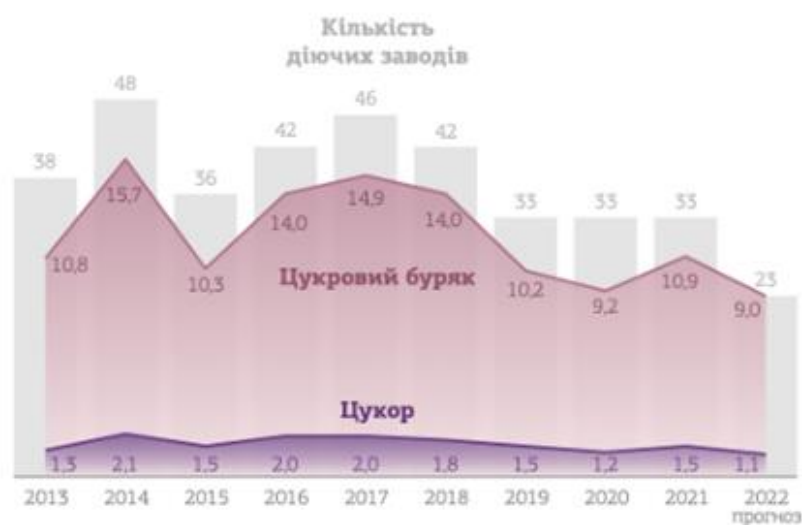


Рис.1.1.1. Виробництво цукрового буряку та цукру, млн т

У 2022 році цукрові буряки у промислових масштабах вирощувались у 14 областях України, головні посіви були зосереджені у 6 областях (більше 70% посіву). Найбільш великі площі під цукровий буряк відвели наступні області: Вінницька 44,0 тис. га (-5,0 тис. га до 2021 р.), Хмельницька, Полтавська та Тернопільська. [7]

Посівні площі під цукрові буряки у 2022 році склали 178 тис. га., що на 48 тис. га менше ніж у 2021 року (226 тис. га). [7]



Рис. 1.1.2. Площа до збирання цукрових буряків

Урожайність цукрових буряків у 2022 році в середньому по країні становила 50,2 т/га, що на 3,9 т/га більше ніж у 2021 році (46,3 т/га). [7]



Рис.1.1.2. Урожайність цукрових буряків

Середній вихід цукру по Україні у 2022 році склав 14,1%, що на 0,1% менше ніж у 2021 році (14,2%), хоча у 2019 році показник становив 15,1%. [7]

За 2022 рік було перероблено майже 9 млн т цукрових буряків, що більш ніж на 1 млн т менше у порівнянні з 2021 роком (10,15 млн т; 2020 р. — 8,7 млн т, 2019 р. — 9,84 млн т). [7]

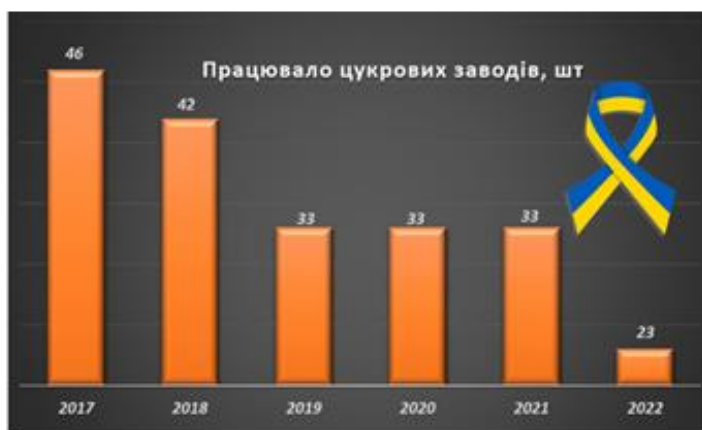


Рис. 1.1.4. Кількість працюючих заводів

Виробництво цукру за 2022/23 МР склало 1,33 млн т, що на 120 тис. т менше ніж у 2021/22 МР (1,45 млн т; 2020/21 МР — 1,17 млн т, 19/20 МР — 1,48 млн т цукру). [7]



Рис. 1.1.5. Виробництво цукру

Вироблено цукру на 1 га площі 7,5 т. Це рекордний показник для цукрової галузі України за усі роки спостереження і є значно вищим показником ніж у попередні роки. [7]



Рис. 1.1.6. Виробництво цукру на 1 га/тонн

Розглянувши обсяги виробництва цукру з цукрових буряків можна спиратися на те, що на сьогоднішній день таке виробництво в Україні знаходиться в певному кризовому стані. Це не враховуючи такі фактори, які від людини чи держави не залежать. До них можна віднести: дощова погода у листопаді значно ускладнила як збирання врожаю, так і його вивезення з полів до переробних підприємств; раннє випадання значного снігового покриву та сильних приморозків, спричинило значне погіршення сировини, що надходила на цукрові заводи.

Через війну відбулася тимчасова зупинка деяких масштабних інвестиційних проєктів, хоча окремі цукрові заводи змогли завершити значні модернізаційні процеси і впровадили проєкти з енергозбереження для підвищення енергоефективності виробництва і якості продукції. [9]

Сьогодні в Україні потрібно формувати регульований ринок цукру, а основною фігурою на ньому має бути його виробник. З теоретичних позицій і на практиці доведено, що ефективне функціонування такого ринку можливе за умови його цілісності й завершеності. Якщо бракує хоч одного елемента, ринок не може нормально функціонувати, або не функціонуватиме зовсім. Зміна стратегії і тактики формування ринкових відносин у цукробуряковому виробництві, чітко

дотримання правил гри, тобто використання відповідних економічних, організаційних і правових методів, дозволить змінити на краще соціально-економічну ситуацію у галузі, відновити гідне становище сільськогосподарських товаровиробників на вітчизняному ринку цукру, дати нові робочі місця, поліпшити соціальні умови життя працівників та їхніх родин. [8]

Упродовж останніх трьох років в Україні підвищувалася якість цукру, що проявлялося у збільшенні обсягів виробництва цукру I категорії та екстра і, відповідно, зростання експорту. До того ж проводилася робота з відповідності вітчизняного законодавства до стандартів Європейського Союзу. [9]

Подальше збільшення обсягів виробництва цукру залежатиме від розвитку сировинної бази. Процес вирощування цукрових буряків є трудомістким та витратним. Переробні підприємства мають розширювати сировинну базу шляхом збільшення власного виробництва або налагодження партнерських відносин із потенційними виробниками цукрових буряків та часткового авансування такого виробництва.

Важливою складовою подальшого розвитку виробництва цукру є модернізації систем енергоспоживання переробних підприємств. Виробництво цукру потребує значних витрат енергії, тому на підприємствах переходять на застосування сучасної інженерної інфраструктури та запровадження альтернативної енергетики.

Подальший розвиток бурякоцукрової галузі матиме загальне економічне значення. Перш за все це збільшення валютних надходжень від нарощування експорту продукції, що позитивно впливатиме на курс національної валюти. Окрім цього, створюватимуться додаткові робочі місця у сільському господарстві та в суміжних галузях. Відтак, збільшення обсягів виробництва впливатиме на зростання надходження до бюджетів усіх рівнів. [11]

Отже, вітчизняна цукрова галузь має великий потенціал, який буде реалізовуватися упродовж наступних сезонів.

1.2. Аналіз загальної характеристики автоматизованих систем управління та її частин

Функціональний аспект вивчення елементів АСУ дає змогу виділити забезпечуючу і функціональну частини АСУ. Склад цих частин регламентується Державним стандартом та іншими керівними й методичними матеріалами зі створення АСУ.

Забезпечуюча частина АСУ складається з підсистем, які автоматизують розв'язування задач з використанням ЕОМ та інших технічних засобів управління в установлених режимах функціонування. Склад забезпечуючої частини АСУ, як правило, однорідний для різних систем, що дає змогу реалізувати принцип сумісництва різних систем у процесі їх функціонування. Обов'язковими елементами забезпечення АСУ є інформаційне, лінгвістичне, технічне, програмне, математичне, правове, організаційне та ергономічне. [17]

Інформаційне забезпечення АСУ (ІЗ) — це сукупність проектних рішень за розмірами, розміщенням, формами організації інформації, яка циркулює в АСУ. Воно містить сукупність показників, форм документів, класифікаторів, нормативної бази, а також персонал, який забезпечує надійність зберігання, своєчасність і якість технології обробки інформації. [14]

Лінгвістичне забезпечення (ЛЗ) об'єднує сукупність мовних засобів для формалізації природної мови, побудови і поєднання інформаційних одиниць у процесі спілкування персоналу АСУ із засобами обчислювальної техніки. За допомогою лінгвістичного забезпечення здійснюється спілкування людини з машиною ЛЗ включає інформаційні мови для описання структури одиниць інформаційної бази АСУ; мови управління та маніпулювання даними інформаційної бази АСУ; мовні засоби інформаційно-пошукових систем; мовні засоби автоматизації проектування АСУ; діалогові мови спеціального

призначення та інші мови; систему термінів і визначень, які використовуються в процесі розробки й функціонування АСУ. [4]

Технічне забезпечення АСУ (ТЗ) являє собою сукупність усіх технічних засобів (технічні засоби збору, реєстрації, передачі, обробки, відображення інформації, оргтехніки та ін.), які використовуються при функціонуванні АСУ. Структурними елементами ТЗ поряд з технічними засобами є також методичні і керівні матеріали, технічна документація і персонал, що обслуговує ці технічні засоби. [6]

Програмне забезпечення АСУ (ПЗ) містить сукупність програм на носіях, даних і програмних документів, яка призначена для відлагодження, функціонування й перевірки роботоздатності АСУ. До складу ПЗ входять загально-системні і спеціальні програми, а також інструктивно-методичні матеріали щодо застосування програмного забезпечення і персонал, який розробляє його й організує супровід на весь період життєвого циклу АСУ. До системного ПЗ належать програми, які розраховані на широкий загаль користувачів і призначені для організації обчислювального процесу та розв'язування задач з обробки даних, які зустрічаються найчастіше. Такі програми дають змогу розширювати функціональні можливості ЕОМ, автоматизувати планування черги обчислювальних робіт, контроль і управління процесом обробки даних, а також автоматизувати працю програмістів. Спеціальне ПЗ — це сукупність програм, які розроблюються для конкретної АСУ. Воно містить пакети прикладних програм (ППП), які виконують організацію даних і їх обробку при розв'язуванні функціональних задач АСУ. [23]

Математичне забезпечення АСУ (МЗ) — це сукупність математичних методів, моделей і алгоритмів обробки інформації, які використовуються при розв'язуванні функціональних задач і в процесі автоматизації проектних робіт АСУ. До них належать засоби моделювання процесів управління, методи і засоби розв'язування

типових задач управління, методи оптимізації досліджуваних-управлінських процесів і прийняття рішень (методи багатокритеріальної оптимізації, математичного програмування, математичної статистики, теорії масового обслуговування і т. ін.). Технічна документація з цього виду забезпечення АСУ містить описання задач, завдання для алгоритмізації, економіко математичні моделі задач, текстові і контрольні приклади їх розв'язування. Персонал становлять спеціалісти з організації управління об'єктом, постановники задач управління, спеціалісти з обчислювальних методів, проектувальники АСУ. [9]

Організаційне забезпечення АСУ (ОЗ) — це комплекс документів, які регламентують діяльність персоналу АСУ в умовах функціонування. У процесі розв'язування задач управління даний вид забезпечення визначає взаємодії працівників АСУ з технічними засобами та між собою. ОЗ реалізується в різноманітних методичних і керівних документах за стадіями розробки, упровадження, функціонування і супроводження АСУ. [4]

Правове забезпечення АСУ являє собою сукупність правових норм, які регламентують правостосунки при створенні й упровадженні АСУ. Правове забезпечення на етапі розробки АСУ охоплює нормативні акти, що пов'язані з договірними стосунками підрядника і замовника в процесі створення АСУ, з правовим регулюванням різних відхилень у ході цього процесу, а також зумовлені потребою забезпечити процес розробки АСУ різними видами ресурсів. Правове забезпечення на етапі функціонування АСУ передбачає визначення структури АСУ в конкретних галузях державного управління, права, обов'язки і ступінь відповідальності персоналу АСУ, порядок створення і використання інформації в АСУ, процедури її реєстрації, збору, зберігання, передачі і обробки і т. ін. [3]

Ергономічне забезпечення АСУ (ЕЗ) як сукупність методів і засобів, які використовуються на різних етапах розробки та функціонування АСУ,

призначене для створення оптимальних умов високоефективної і безпомилкової діяльності людини, спрямованої на якомога швидше освоєння цієї системи. До складу ЕО входять: комплекс різноманітної документації, яка містить ергономічні вимоги до робочих місць, інформаційних моделей, умов діяльності персоналу, а також набір найдоцільніших способів реалізації цих вимог і здійснення ергономічної експертизи рівня їх реалізації; комплекс методів, навчально-методичної документації і технічних засобів, які забезпечують обґрунтованість вимог до рівня підготовки персоналу, і т. ін. [5]

Серед АСУ розрізняють автоматизовані системи управління підприємством (АСУП) і автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП).

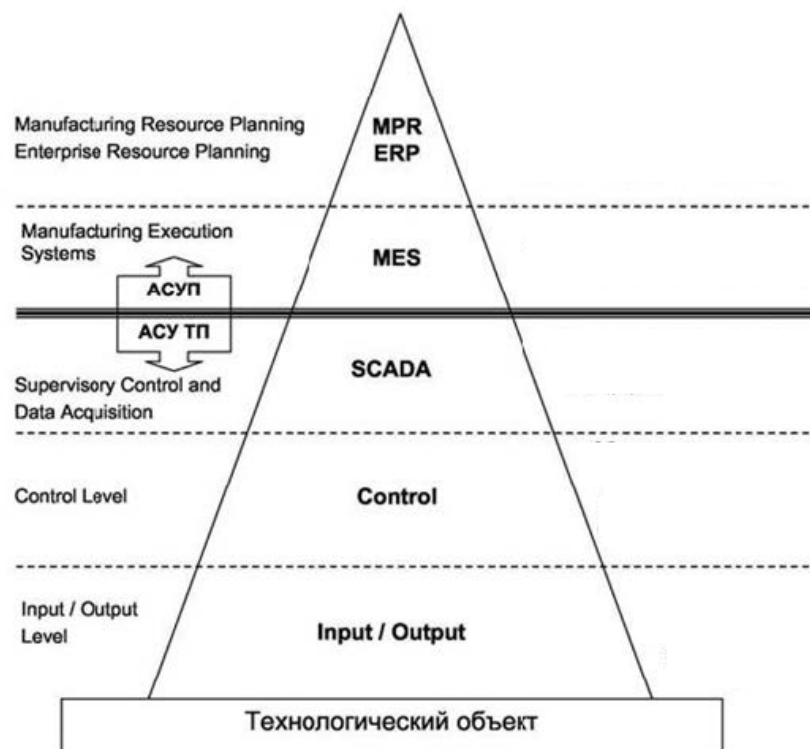


Рис. 1.2.1. Піраміда інформаційної структури управління підприємством.

На верхньому рівні управління вирішуються стратегічні завдання. До них можуть належати всі види прогнозів, що визначають тенденції розвитку підприємства на багато років наперед; характер цього розвитку - повна реконструкція, розширення виробництва, його часткова модернізація, перехід на виготовлення принципово нових виробів або модифікація моделей, що випускаються.

ERP системи (Enterprise Resource Planning System - Система планування ресурсів підприємства), це конкретний програмний пакет прикладного програмного забезпечення, що реалізує стратегію ERP. Сучасні ERP-системи призначені для побудови єдиного інформаційного простору підприємства та ефективного управління всіма ресурсами компанії, пов'язаними з виробництвом, продажами та обліком замовлень. Основні постачальники програмного забезпечення систем ERP – компанії SAP, Microsoft та Oracle. Вартість програмного забезпечення, залежно від кількості використовуваних модулів, може становити від кількох десятків до кількох сотень тисяч доларів.

Інформаційні системи ERP дозволяють створити єдину базу даних підприємства, що дозволяє управляти такими складовими бізнесу як: планування та управління виробництвом; управління якістю; закупівлю сировини; управління складами та логістику; взаємодія із постачальниками; обслуговування клієнтів; фінанси та бухгалтерський облік; контроль виконання замовлень та ін.



Рис. 1.2.2. Функціональні елементи системи ERP.

ERP-система визначає графік виробництва (що робити та що використовувати). А звіти, отримані на рівні виробництва, повідомляють ERP-системі про стан виробництва (що було зроблено та використано) – інформацію, яка звичайна для готових виробів, час виготовлення та кількість спожитих матеріалів.

З'явилася тенденція та необхідність спільного використання даних сучасних програмних розробок ERP, CRM, CSM та SCADA-систем, що дозволяють проводити поточне та оперативне планування витрат, собівартості та оцінки ресурсів підприємства. Це призвело до необхідності створення MES системи (прикладне програмне забезпечення), яка б узгодила та об'єднала програмні програми, створивши можливість вертикальної інтеграції інформаційних потоків і на своєму рівні створила можливість оперативного управління виробництвом.

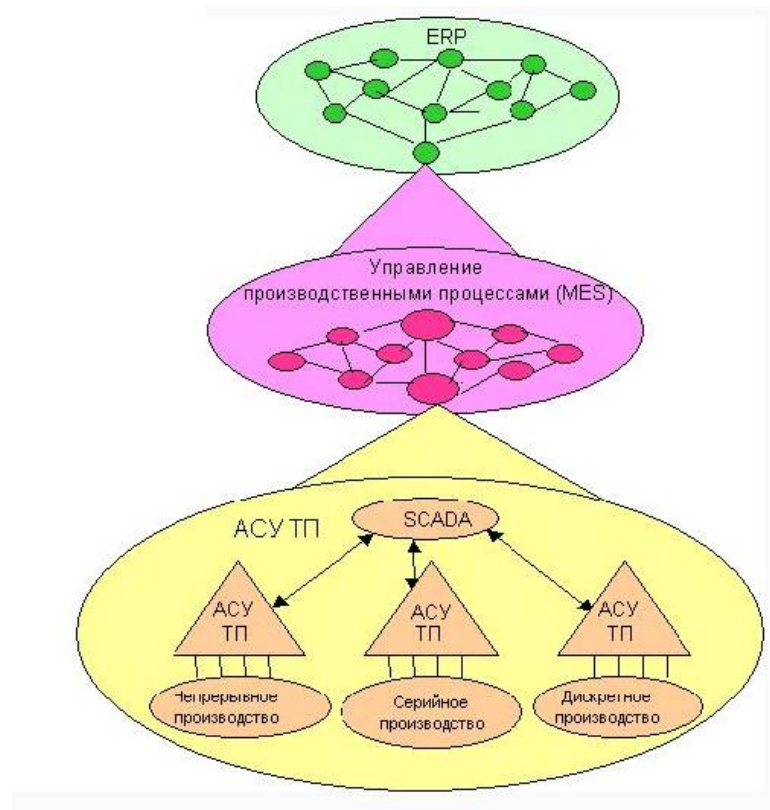


Рис. 1.2.3. Три рівні керування інтегрованим підприємством

Використовуючи інформацію з рівнів управління та планування, системи MES контролюють поточну виробничу діяльність відповідно до вхідних заявок, вимог технологічної та конструкторської документації, поточного стану обладнання та орієнтовані на максимізацію ефективності та мінімізацію витрат на поточні виробничі процеси.

Функції MES-систем:

- Моніторинг станів та розподілу ресурсів. Управління ресурсами виробництва: матеріалами, персоналом, технологічним обладнанням, інструментами, документацією та методиками робіт.
- Детальне та оперативне планування. Ведення виробничих розкладів, що ґрунтується на пріоритетах, характеристиках, атрибутах та способах, що залежать від специфіки виробів та технологій виробництва.

- Диспетчеризація виробництва. Контролює потоки деталей, що виготовляються за серіями, партіями, замовленнями та операціями, використовуючи систему робочих нарядів.
- Збір та зберігання інформації. Організація взаємодії інформаційних підсистем для отримання, упорядкування та транспортування керуючих та технологічних даних, що мають оборот у виробничому середовищі підприємства.
- Управління документами. Облік змісту та проходження документів, що супроводжують виготовлення продукції, ведення звітної та планової документації.
- Організація персоналу. Надання можливості щохвилинного керування персоналом.
- Контроль за якістю продукції. Аналізація інформації про вимірювання якості продукції заснованої на інформації, що надходить фахівцям у режимі реального часу, з виробничих рівнів, забезпечення потрібного рівня якості, виявлення критичних точок та проблем, яким слід приділити особливу увагу.
- Контроль виробничих процесів. Ведення моніторингу виробничих процесів, автоматизоване коригування чи діалогова підтримка за втручання оператора.
- Аналіз продуктивності. Формування докладних звітів про досягнуті результати виробничих операцій. Порівняння фактичних та планових показників.
- Управління ремонтом та техобслуговуванням. Організація планового технічного обслуговування та оперативне проведення ремонтних робіт для підтримки експлуатаційної придатності обладнання та інструментів.

- Ведення історію продукту. Графічне відображення інформації про місце та час виконаних робіт з кожного продукту. Можливість включення до звіту інформації: про партійні та серійні номери, виробничі корекції, виконавців, технологічні маршрути, матеріали, комплектуючі, поточні умови виробництва та інші дані.

Система АСУ ТП - це автоматизована людино-машинна система управління, призначена для автоматизації технологічних процесів на виробництві. Служить для вироблення та реалізації впливів, що управляють, на об'єкти управління. Система включає засоби автоматизації та оперативний персонал (операторів, диспетчерів).



Рис. 1.2.4. Рівні АСУ ТП

Нижній рівень. Рівень обладнання (Input/Output). Це рівень датчиків (sensors), вимірювальних пристроїв, що контролюють керовані параметри, а також виконавчих пристроїв (actuators), що впливають на ці параметри процесу, для приведення їх у відповідність із завданням. На цьому рівні здійснюється

узгодження сигналів датчиків з входами пристрою управління, а команд, що виробляються з виконавчими пристроями.

Середній рівень. Рівень керування обладнанням-Control level. Це рівень контролерів (PLC-PLC, Programable Logic Controller). ПЛК отримує інформацію з контрольно-вимірювального обладнання та датчиків про стан технологічного процесу та видає команди управління, відповідно до запрограмованого алгоритму управління, на виконавчі механізми.

Верхній рівень. Рівень промислового сервера, мережного обладнання, рівень операторських та диспетчерських станцій. На цьому рівні йде контроль ходу виробництва: забезпечується зв'язок із нижніми рівнями, звідки здійснюється збір даних, візуалізація та диспетчеризація (моніторинг) ходу технологічного процесу. Це рівень HMI, SCADA.

У цьому рівні задіяний людина, тобто. оператор (диспетчер). Він здійснює локальний контроль технологічного обладнання через так званий людино-машинний інтерфейс (HMI – Human Machine Interface). До нього відносяться: монітори, графічні панелі, які встановлюються локально на пультах керування та шафах автоматики.

Для здійснення контролю за розподіленою системою машин, механізмів та агрегатів застосовується SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерське управління та збір даних) система. Ця система є програмним забезпеченням, яке налаштовується і встановлюється на диспетчерських комп'ютерах. Вона забезпечує збирання, архівацію, візуалізацію, найважливіших даних від ПЛК. При отриманні даних система самостійно порівнює їх із заданими значеннями керованих параметрів (уставками) і при відхиленні від завдання повідомляє оператора за допомогою тривог (Alarms), дозволяючи йому вжити необхідних дій. При цьому система записує все, що відбувається, включаючи дії

оператора, забезпечуючи контроль дій оператора у разі аварії або іншої нештатної ситуації. Таким чином, забезпечується персональна відповідальність оператора, що управляє.

1.3. Аналіз існуючих міжнародних стандартів автоматизації та їх розвиненість в Україні

Опис стандарту ISA-88.

Стандарт ISA-88 «Batch Control» визначає концепції та термінологію для проектування автоматизації гнучких установок дозування. Він має такі аспекти:

Стандарт забезпечує модульне проектування та заохочує проектування об'єктів шляхом покращення потенціалу повторного використання об'єктів автоматизації. Це призводить до зменшення зусиль на розробку, кращого управління знаннями та більш надійних програм, що розвиваються.

Контроль є інтегрованою частиною об'єкта, яка спрямована як на керування, так і на обмеження кількості його можливих станів. Коли кількість продуктів або послуг, які має надати заклад, збільшується, кількість дозволених станів збільшується: контроль стає більш залученим, отже потенційно складнішим для впровадження.

Гнучкість виражає здатність об'єкта ефективно обробляти необхідну поведінку для кожного очікуваного результату за мінливих внутрішніх або зовнішніх умов.

Контроль, наприклад, викликає труднощі при постачанні різних продуктів з використанням різного обладнання або того самого продукту з використанням різного обладнання, що є основною вимогою, яка розглядається в ISA-88.

ISA-88 надає мову (моделі та термінологію, граматику та словниковий запас), яка може використовуватися для підтримки взаємодії між інженерами-технологами, операторами, постачальниками програмного забезпечення та системними інтеграторами. Структури даних допомагають обмінюватися інформацією між програмами та контекстуалізувати її у робочих базах даних.

ISA-88 пропонує формалізувати знання про виготовлення продукту в термінах фізико-хімічних перетворень, необхідних для отримання продукту з заданими характеристиками, послідовність операцій для виготовлення продукту на даному об'єкті та спосіб трансформувати нейтральні вимоги у виконувані робочі процедури.

ISA-88 є першим стандартом для функціонального проектування програм автоматизації. Присвячений гнучким пакетним процесам, він також застосовується до інших виробничих стратегій, які вважаються менш обмежувальними та проблематичними для інженерів-диспетчерів.

ISA-88 тримається на відстані від технологій і принципово не вимагає спеціальних функцій DCS, PLC або SCADA/MES додатків. Проте постачальники програмного забезпечення ІТ пропонують багато рішень із маркуванням ISA-88: інструменти проектування, менеджери пакетів, архіви даних і бібліотеки об'єктів автоматизації.

Опис стандарту ISA-95.

Стандарт ISA-95 визначає моделі даних для обміну інформацією між додатками, пов'язаними з виробництвом (ERP, MES, SCADA, LIMS, MMS, WMS...), а також структуру діяльності для збору вимог, функцій проектування, урбанізації додатків для підтримки виробничих операцій.

Стандарт ISA-95 широко обговорює інформаційну підтримку операцій промислових систем.

Це де-факто еталон для керування життєвим циклом функціональних можливостей домену MES (системи виконання виробництва) / MOM (управління виробничими операціями) (вимоги, урбанізація дизайну, операції). Він створює багатовимірну карту для керування пов'язаною документацією та ІТ-активами.

ISA-95 визначає структури даних для обміну інформацією між відповідними програмами. Моделі UML реалізовані як XML-схеми в B2MML.

На відміну від ISA-88, ISA-95 прагне нейтральності до виробничої типології. Він використовується як посібник із функціонального проектування для інформаційної підтримки промислових систем і як стандарт проектування для інтерфейсів між програмними додатками.

Постачальники програмного забезпечення колись використовували моделі даних для розробки рівня стійкості додатків.

Опис стандарту ISA-106.

ISA106, запущений у 2010 році, спрямований на просування автоматизованих процедур у безперервних процесах. Ці процеси в основному були розроблені для масового виробництва, але все більше і більше вимагають гнучкості та оптимізації з точки зору операцій. Недавній акцент на безпеці, пропускній спроможності та якості призвів до цих зусиль, щоб найкраще спроектувати автоматизований запуск, зупинку та обробку винятків цих установок. Перший технічний звіт пропонує моделі та термінологію, частково натхненні ISA-88 та ISA-95 для обробки процедурного дизайну від збору вимог до впровадження.

Таким чином стандарти ISA, представлені в цьому розділі, широко відомі прийняті в промисловості.

1.4. Аналіз існуючих автоматизованих систем управління випарною установкою на цукрових заводах України

З початку я ознайомився з основними моментами, при подальшому виконання моєї кваліфікаційної роботи. Об'єкт дослідження в даному підпункті є процес випарки, що відбувається на неперервнодіючих випарних установках цукрових заводів.

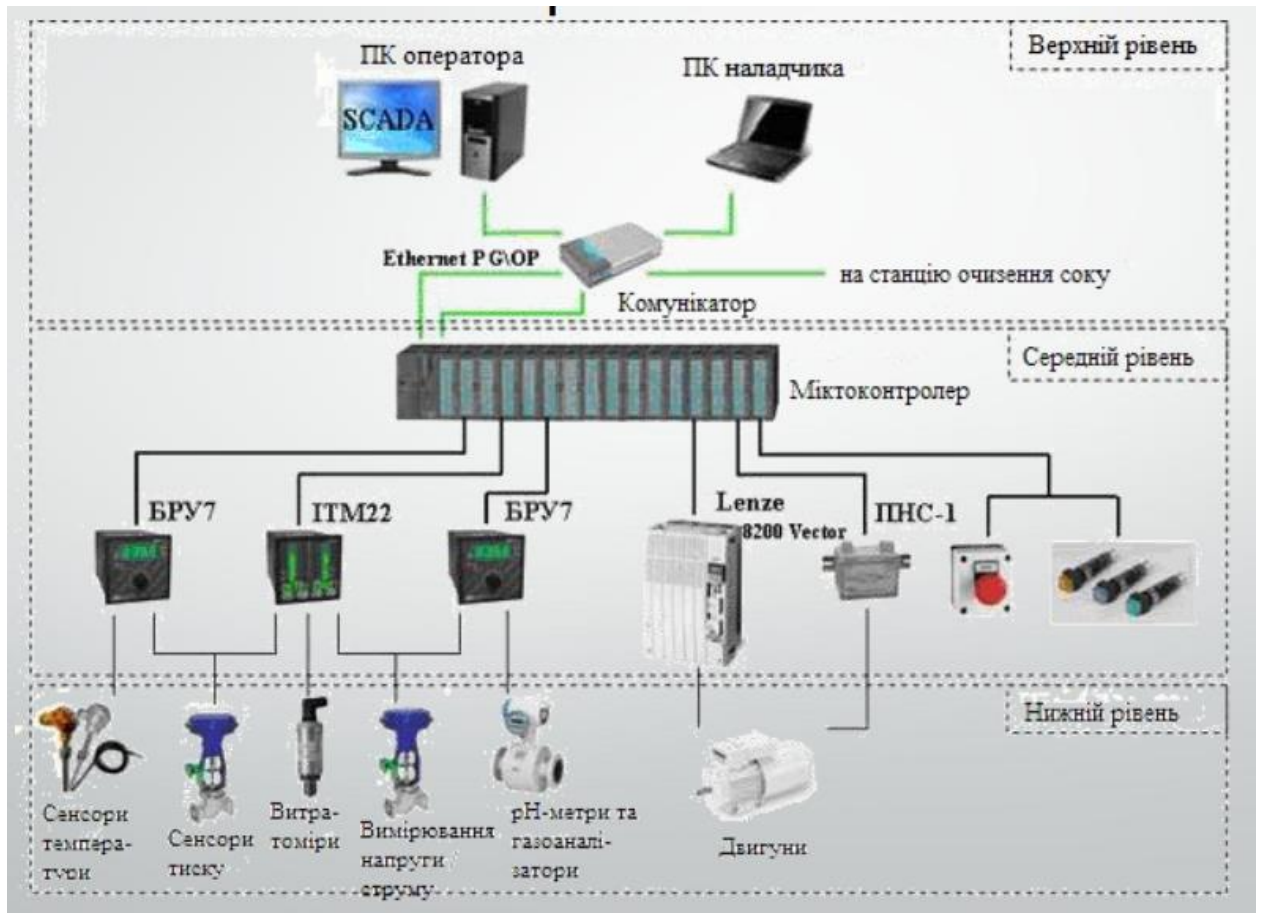


Рис. 1.4.1. Структурна схема автоматизації техпроцесу випарювання

Основні компоненти системи автоматизації техпроцесу випарювання :

- термометри опору ТСП100 (ТЕРА, Україна),
- датчики тиску Kobold (Німеччина),
- витратоміри Endress + Hauser і Siemens (Німеччина),

- для вимірювання напруги і струму на двигунах постійного струму - перетворювачі постійної напруги і трансформатори струму фірми Мікрол (Україна),

- рН-метри і газоаналізатори,

- виконавчі пневматичні механізми МПП і ПСП,

- заводські тиристорні перетворювачі для регулювання швидкості двигунів приводів постійного струму,

- два насоси - основний та резервний на трубопроводах основних потоків,

- частотні перетворювачі Lenze 8200 Vector для плавного управління насосами,

- промисловий контролер WinPAC-8000 с процесором PXA270 із і підтримкою відкритих інтерфейсів Ethernet(одночасно два порти - активний і пасивний) і Profibus-DPmaster / slave . Перший Ethernet порт використовується для конфігурування, програмування, налагодження і діагностики контролера в режимі on-line, а другий – для двох груп з'єднань: для зв'язку з програмою SCADA / HMI та для зв'язку з контролером-партнером через S5 - сумісні комуні каці і натранспортному протоколі TCP / IP.

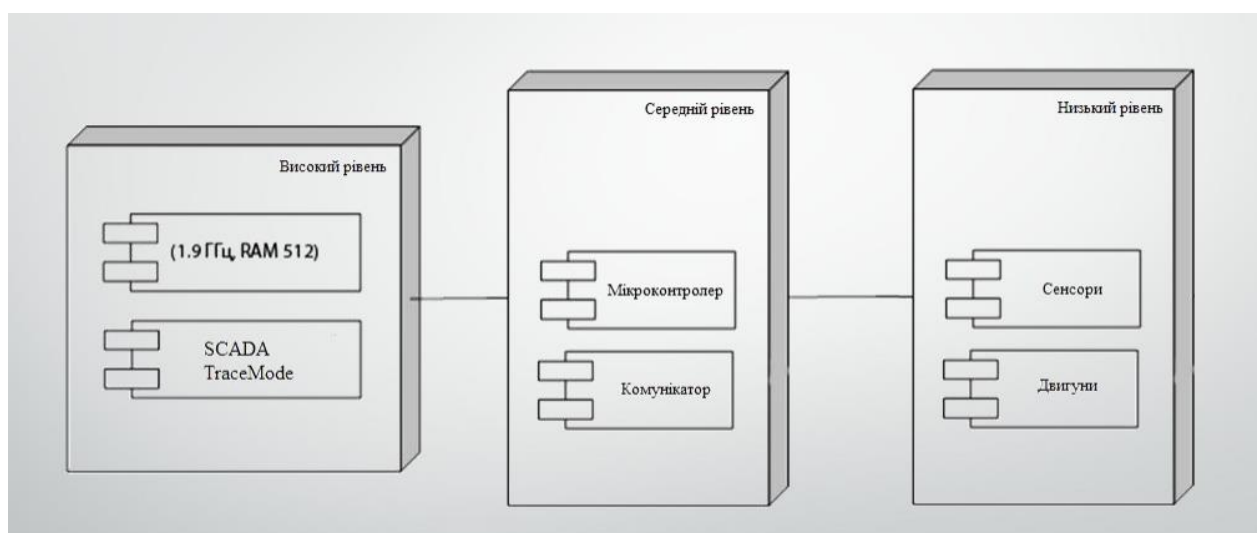


Рис. 1.4.2. UML-діаграма розгортання

Структури системи автоматизації техпроцесу випарювання складається:

- нижній рівень: датчики і виконавчі механізми;
- середній рівень: контролер, комунікаційна апаратура, перетворювачі для двигунів постійного та змінного струму;
- верхній рівень: робоча станція оператора (АРМ оператора), обладнана з апаратурою управління технологічним процесом та отриманою інформацією, яка може працювати у автоматичному та ручному режимах та може бути інтегрована в існуючі SCADA- системи.

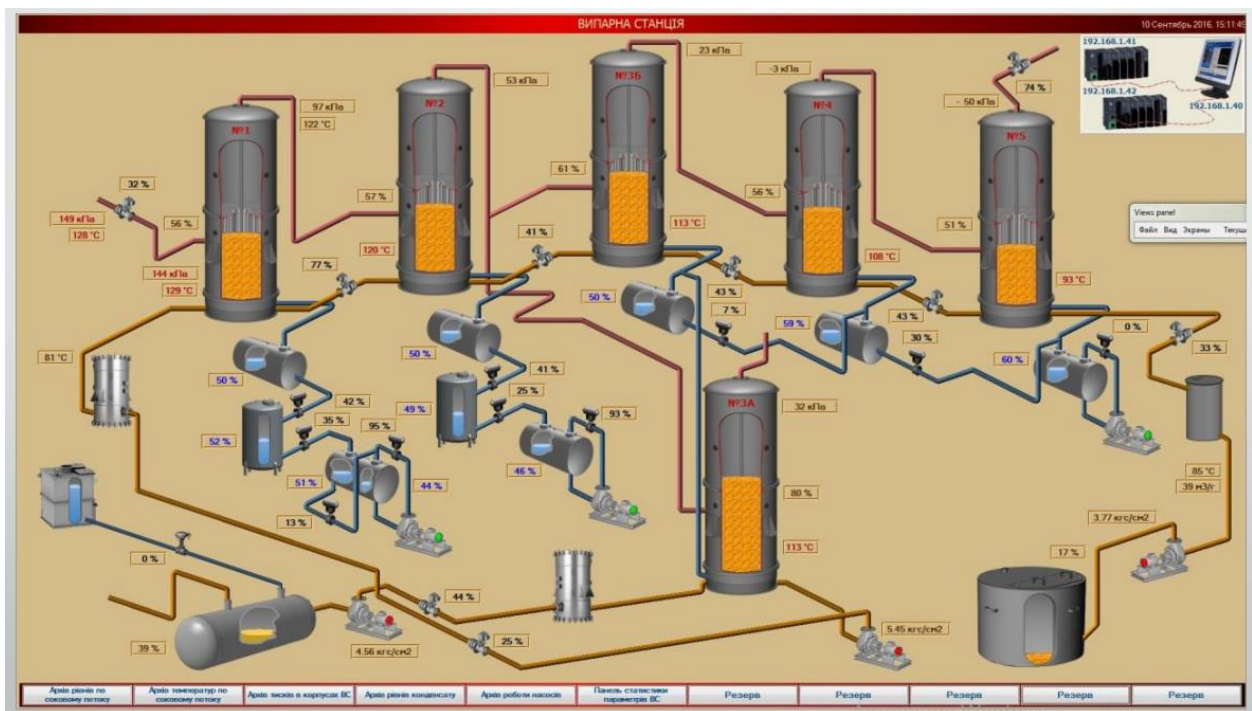


Рис. 1.4.3. Головне вікно системи

На основній мнемосхемі зображено випарну станцію та допоміжне обладнання. З цієї мнемосхеми можна викликати панелі операторів та панелі настройки регуляторів, панель перегляду історичних трендів та панель звітів по аваріям.

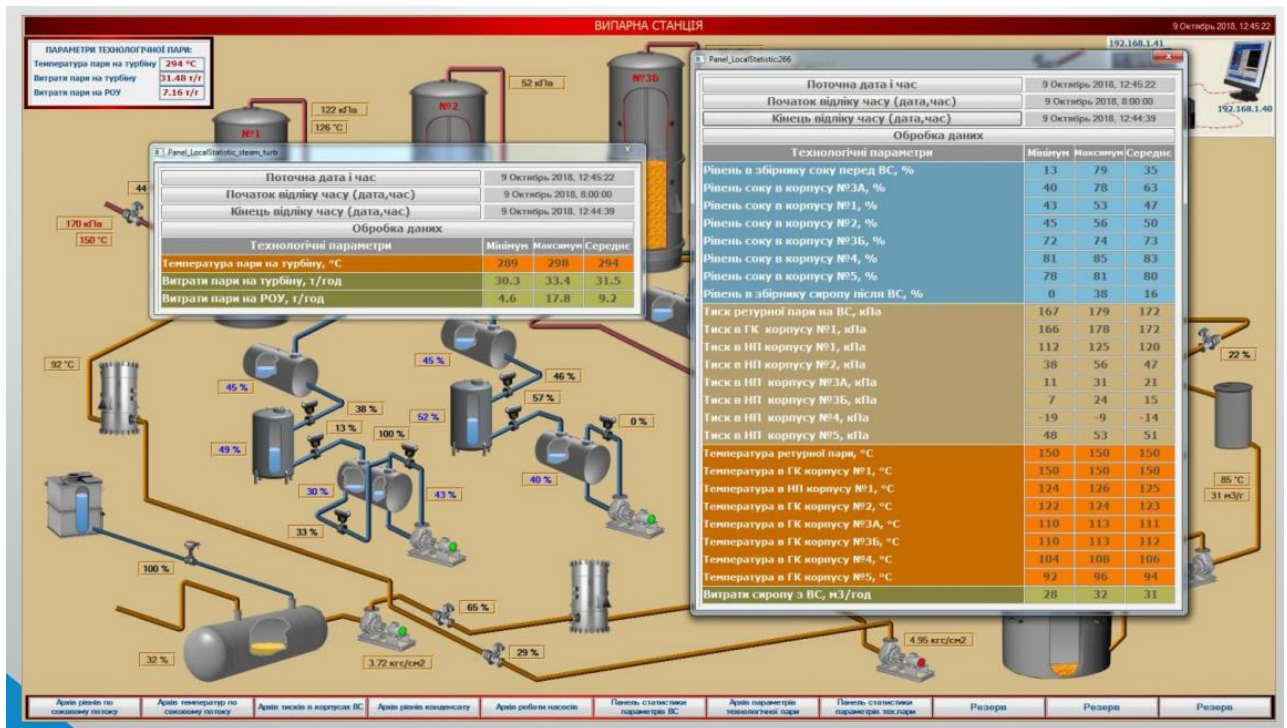


Рис. 1.4.4. Управління та моніторинг складових техпроцесу

Також мною було проаналізовано ще один об'єкт автоматизації випарної установки Дубенський цукровий завод, який розташований в місті дубно рівненської області.

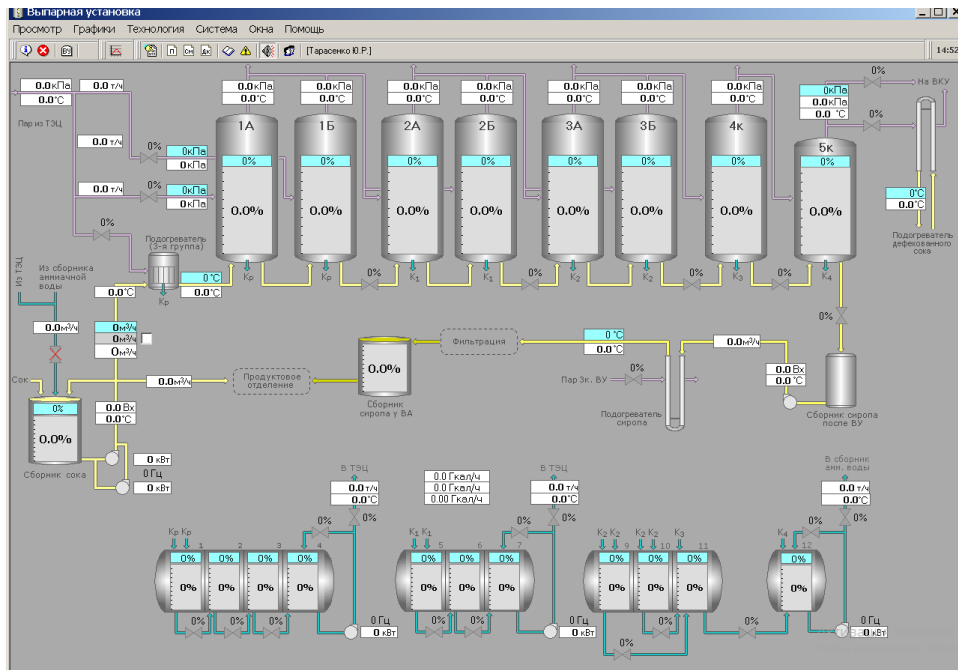


Рис. 1.4.5. Мнемосхема на Дубенському цукровому заводі

Обладнання, охоплене системою автоматизації включає в себе 8 випарних апаратів (перші 3 корпуси здвоєні), збірники фільтрованого соку перед ВУ, збірники сиропу перед вакуум-апаратами, третя група підігрівачів фільтрованого соку, конденсатне господарство, насоси соку, сиропу, конденсату.

Основні складові системи вміщує в себе операторське приміщення зі щитами управління й комп'ютером оператора; SCADA-сервер, що забезпечує підключення оператора, співробітників КВП та інших, за допомогою локальної мережі і мережі INTERNET; щити управління "Випарна установка", "Конденсат" зі станціями управління СУИМ 0/20 на кожному контурі аналогового регулювання; датчики: тиску и рівню Aplisens, Endress + Hauser, Dinel, термометри ТЭРА, витратоміри Aswega, Siemens, густиноміри Aplisens; виконавчі механізми: частотні перетворювачі INVT, затвори дискові Omal, Alfa Laval, SIGEVAL.

В основі системи - TSX P573634M з програмою Unity Pro.



Рис.1.4.6. Щит управління випарним відділенням

Система автоматизації випарної станції повинна забезпечувати:

- регулювання рівнів по корпусам випарної станції, збірниками соку, сиропу з використанням нового алгоритму, який враховує заданий пріоритет об'єкта,
- регулювання рівнів по збірникам конденсату;
- регулювання температури соку на випарну станцію та сиропу перед фільтрацією;
- подачу аміачної води при відсутності соку;
- контроль температури та тиску гріючої пари;
- контроль температури, тиску (розрідження) по корпусам;
- контроль температури соку;
- контроль витрати соку на випарну станцію та витрати сиропу;
- контроль витрати пари на перший корпус;

- контроль густини соку на випарну станцію та сиропу на виході з неї;
- сигналізацію при перевищенні рівнів у 1 та 2 корпусах;
- реєстрацію всіх технологічних параметрів, завдань та положень регулюючих органів.



Рис. 1.4.7. Загальний вид цеху

Розділ 2. Загальносистемні рішення

2.1. Загальний опис об'єкту та системи

Узагальнена картина цукрового заводу - це трудомістка організаційно-технічна система, теплотехнічний промисловий об'єкт, де одночасно відбуваються такі складні явища, як теплообмін, гідродинамічні процеси та фізико-хімічні зміни властивостей матеріалів.

Такі складні об'єкти, як цукрові заводи, містять ряд специфічних особливостей і характеристик, які є небажаними з точки зору управління ними. До таких особливостей відносяться об'ємна ритмічність, значна нелінійність та нестабільність, множинність станів діяльності та умов виробництва, часткова, суперечлива та малоймовірна інформація про умови та поведінку управління [8].

Розглядаючи аналіз групи цукрових заводів, можна максимально узагальнити наступні системні підходи [4].

- Створення структури системи та визначення взаємодії між наявними підсистемами.
- Визначення основних та додаткових властивостей системи.
- Встановлення та аналіз функціональних метоцільових завдань для системи в цілому та окремих її підсистем.
- Оцінка динамічних та статичних властивостей системи.
- Використання математичних підходів при вивченні систем.

Координування теплоенергетичного комплексу цукрового заводу вимагає впровадження та поєднання різноманітних методів, які включають в себе різні наукові та формальні аспекти.

У технічних публікаціях розрізняють терміни "комбіноване виробництво теплової та електричної енергії" та "комбіноване виробництво теплової та електричної енергії". У першому випадку, це вказує на процес, пов'язаний з технологією виробництва конкретного продукту за допомогою теплових процесів. У другому випадку, це вказує на процес виробництва енергії або її використання для забезпечення машинної праці.

Основою теплоелектроцентралі на цукрових заводах є когенераційна установка (ТЕЦ) з електричним синхронним генератором на базі парової турбіни з протитиском.

У склад устаткування ТЕЦ входять:

- Парогенератор: технічний пристрій, призначений для генерації водяної пари, зазвичай під високим тиском, шляхом перетворення енергії, отриманої від спалювання палива або іншого джерела тепла. Водяна пара, що утворюється в

парогенераторі, може використовуватися для приведення в рух парових турбін у системах електрогенерації, тепlopостачання та інших технічних процесах.

- Парова турбіна: технічний пристрій, який використовує енергію пари для створення обертального руху ротора. Рух ротора потім використовується для приведення в рух генератора електроенергії або інших механізмів. Робочий принцип полягає в тому, що високотемпературна і високотискова пара входить у турбіну, де її енергія перетворюється в обертальний рух.

- Генератор електричного струму: електричний пристрій, який перетворює механічну енергію в електричну енергію. Основний принцип роботи генератора полягає в примусовому руханні провідника в магнітному полі, що призводить до індукції електричного струму в цьому провіднику.

- Деаератори: обладнання, яке використовується для видалення кисню з води, яка використовується в парогенераторі або інших системах теплового обладнання. Це важливо, оскільки наявність кисню в парі може спричинити корозію трубопроводів та обладнання, що може негативно вплинути на ефективність та тривалість експлуатації обладнання.

Це лише деякі складові частини теплоелектроцентралі на цукрових заводах, а їхнє інтегроване функціонування дозволяє виробляти електричну та теплову енергію у вигляді когенерації.

Важливе значення для ефективного функціонування теплотехнологічного комплексу цукрового заводу має випарна установка (ВУ), яка є основним споживачем технологічної пари. Зменшення витрат пари на ВУ досягається за допомогою багатоступінчастого процесу випарювання, що реалізується через використання багатокорпусних установок.

Значне зменшення витрат технологічної пари досягається завдяки багатоступінчастому випарюванню, яке відбувається у спеціальних корпусах установки. Такий підхід дозволяє оптимізувати процес випарювання і ефективно використовувати теплову енергію.

Додатково, важливою стратегією є повторне використання пари з корпусів випарної установки для інших технологічних потреб, наприклад, для живлення вакуум-апаратів. Цей підхід сприяє значному зменшенню витрат технологічної пари та вдосконаленню енергоефективності всього теплотехнологічного комплексу цукрового заводу.



Рис. 2.1 Блок-схема роботи обладнання у випарній станції

Процеси випарювання у випарних апаратах полягають у частковому видаленні розчинника з розчину, одержанням концентрованого розчину, який в подальшому загусає до остаточної концентрації сухих речовин, а для багатьох технологій до стану кристалізації. При реалізації процесу необхідно, при заданій потужності випарної установки, одержати згущений розчин заданої концентрації, з високою якістю, без втрат сухих речовин при менших витратах палива. Випарювання може відбуватися в одному апараті, або у випарній установці з кількох послідовно зв'язаних між собою апаратів (корпусів) безперервної дії з паровим обігрівом. Використання багатокорпусних установок дає можливість значно зменшити витрати палива на процес випарювання.

Випарювання розчинів відрізняється від кипіння однокомпонентної рідини (наприклад води) тим, що розчини киплять при більш високій температурі, ніж чистий розчинник, при тому ж тиску. Дану обставину необхідно враховувати під час розрахунку та проєктуванні випарного апарата, при виборі параметрів

теплоносія та робочого режиму експлуатації. Пару, що утворюється з розчину (вторинна пара) одного випарного апарата направляють в гріючу камеру наступного випарного апарата та при цьому підтримують в другому апараті такий тиск, щоб температура цієї пари була більша температури кипіння розчину в другому апараті, тоді в ньому відбуватися випарювання, як і в першому апараті. З'єднання декількох випарних апаратів, в яких вторинна пара з кожного попереднього апарата направляється в гріючу камеру наступного апарата, називається випарною багатокорпусною установкою.

Для реалізації кипіння розчину в кожному корпусі, необхідно забезпечити різницю між температурами вторинної пари попереднього корпуса та киплячого розчину наступного корпуса. Проведенням випарювання у багатокорпусних установках досягається значна економія пари, а значить і палива для її отримання, порівняно з однокорпусним випарюванням при тих же потужностях.

Принципова схема п'ятикорпусної випарної установки зображена на рисунку нижче.

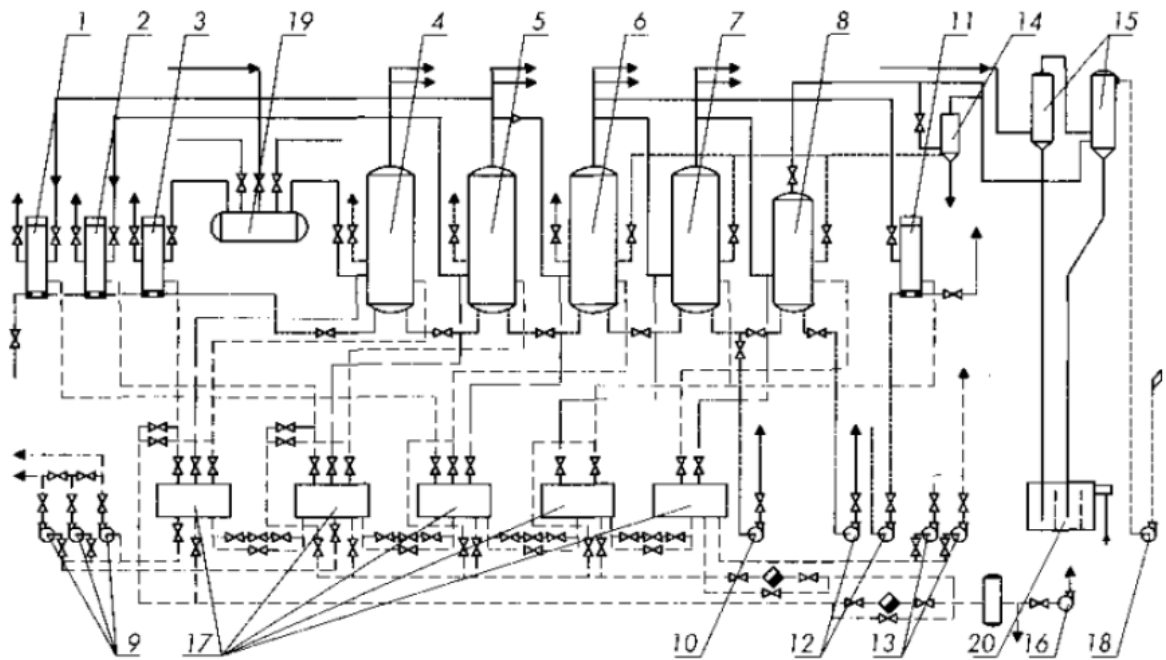


Рис. 2.2 Принципова теплова схема випарної установки

1,2,3,11 – підігрівачі, 4,5,6,7,8– корпуси випарної установки, 9 – пароконтактний підігрівач, 9,10,12,13,16 – насоси, 14 – пароконтактний підігрівник, 15 –кондансатор, 17 – збірник конденсату, 18 – вакуум-насос, 19 – збірник ретурної пари, 20-барометричний ящик

Для п'ятикорпусної установки розглянемо схему підігріву розчину, схему живлення апаратів розчином та систему використання вторинного тепла.

Гріюча пара, яка надходить до першої ступені випарної установки через паровий колектор 3, має температуру, що з однієї сторони необхідна для забезпечення необхідного температурного перепаду між парою та розчином у першому корпусі (8...10°C), а з другої – для забезпечення різниці температур по всій випарній установці, що достатня для корисного перепаду температур у кожному корпусі. Але заборонено без технологічної необхідності підвищувати температуру гріючої пари, виходячи з того, що її підвищення веде до недовиробітку електроенергії в турбіні ТЕЦ.

Температура розчину при подачі його в першу ступінь має досягати температури кипіння. Для цього у випарній установці використовують схему регенеративного підігріву розчину.

Частину екстра-пари з першого корпусу подають до підігрівника. Кінцевий нагрів розчину перед подачею на випарювання відбувається в наступному підігрівачі свіжою парою з ТЕЦ, розподіл якої між першим корпусом та підігрівачем здійснюють у паровому колекторі. Підігрівання розчину первинною парою перед подачею його на випарювання не забезпечує економію цієї пари та не впливає на величину поверхонь нагріву всієї випарної установки. Але це приводить до зменшення площі поверхні нагріву випарних апаратів за рахунок збільшення поверхні нагріву підігрівників розчину.

Витрати теплоти на нагрів розчину перед подачею на випарювання та на кипіння в корпусах, супроводжується виділенням великої кількості вторинного тепла у вигляді пари розчинника та гарячого конденсату, що видаляється з кожного апарата та підігрівників.

Конденсат із першого корпусу установки повертають на ТЕЦ чи котельню, а з інших корпусів і регенеративних підігрівників використовують для промивки апаратів і для інших власних потреб.

Відбір вторинної пари з усіх корпусів здійснюється для споживачів тепла, через що випарна установка спроектована з протитечійним барометричним конденсатором змішування, в якому для конденсації вторинних парів останньої ступені утворюють вакуум.

Розрахунок випарних установок полягає в одночасному розв'язуванні рівнянь теплового та матеріального балансів установки з рівнянням теплопередачі. Теплотехнічні умови випарювання різних розчинів є подібними, а сам процес відбувається в апаратах, подібної будови. Але методика розрахунку повинна враховувати фізико-хімічних особливості кожного розчину.

2.2. Розробка загальної ієрархічної моделі обладнання

Ієрархія устаткування є однією із наскрізних моделей для інтегрування усіх рівнів керування. Вона дає можливість зробити декомпозицію (розбивку на менші елементи) усіх діяльностей, та зосереджуватися на них при реалізації. У цьому розділі зосередимося на цьому типі ресурсів.

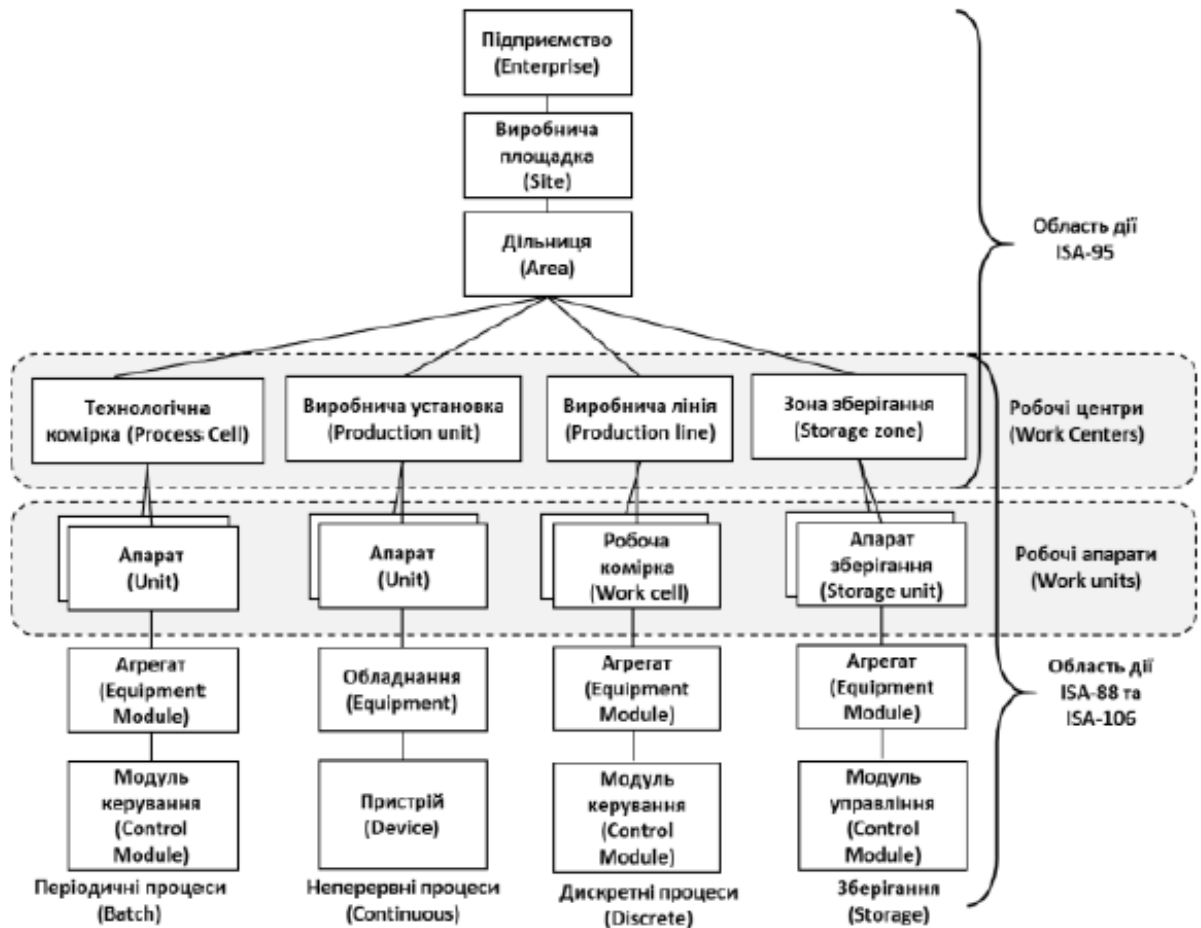


Рис. 2.6 Загальна модель ієрархії обладнання (фізична модель) для ISA-95 та ISA-88

У цій роботі було створено діаграму моделі ієрархії обладнання для цукрових заводів шляхом поділу моделі на три верхні та три нижні яруси.

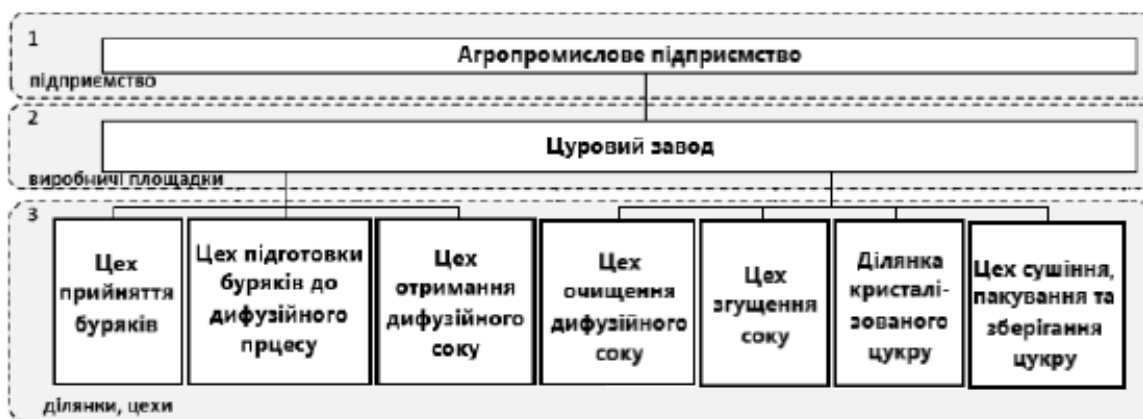


Рис. 2.7 Верхні рівні (1-3) ієрархічної моделі обладнання цукрового заводу відповідно до ISA-95



Рис. 2.8 Нижні рівні (4-6) ієрархічної моделі обладнання лінії виробництва цукру відповідно до ISA-95/106

2.3. Функціональна структурна схема

Функціональна структура будується на основі вже відомих особливостей і характеристик об'єкта та вихідних даних, які є вимогами до нього.

Опис особливостей функціональної структури повинен включати схему функціональної структури та опис автоматизованих функцій. Ці функції повинні бути реалізовані системою і розділені на певну кількість підфункцій, пов'язаних між собою інформаційними зв'язками.

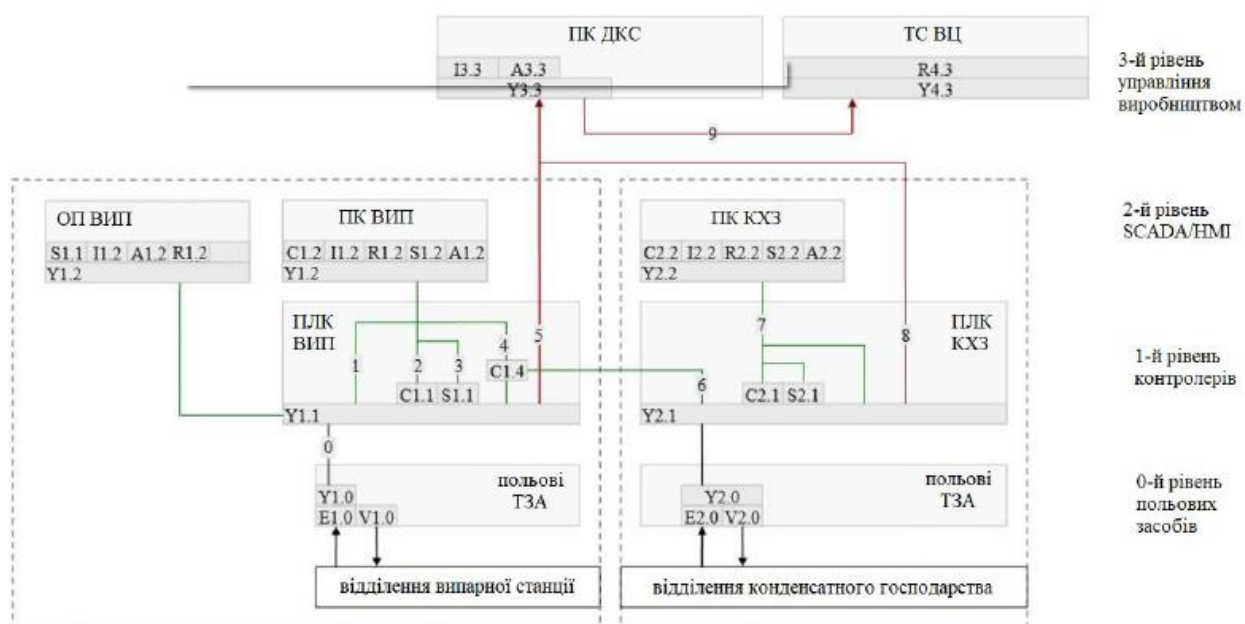


Рис. 2.9 Функціональна структура інтегрованої АСУ виробництва цукру

Таблиця 2.2. Умовні позначення до схеми функціональної структури

Позначення	Найменування
польові ТЗА	технічні засоби автоматизації, які відносяться до польового рівня
ПЛК ВИП	мікропроцесорний контролер для відділення випарної станції
ПЛК КХЗ	мікропроцесорний контролер відділення конденсатного господарства
ПК КХЗ	АРМ оператора відділення конденсатного господарства (на базі комп'ютера)
ПК ВИП	АРМ оператора випарної станції (на базі комп'ютера)
ОП ВИП	АРМ оператора відділення випарної станції
ПК ДКС	диспетчерсько-координуюча станція АРМ головного технолога на базі комп'ютера (ПК)
ТС ВЦ	технологічний сервер виробництва цукру - сервер архівів основних виробничих параметрів
E1.0, E2.0	вимірювальне перетворення
V1.0, V2.0	управління технологічним обладнанням та виконавчими механізмами
Y	перетворення та обробка інформації
HC2	автоматизоване регулювання, управління технологічним процесом
C1.1, C2.1	автоматизоване регулювання, управління технологічним процесом
C1.4	автоматизоване управління подачею пари на перший корпус станції
C1.2, C2.2	дистанційне управління, формування завдання, настройка регуляторів
R1.2, R2.2	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
S1.1, S2.1	автоматизоване включення, відключення, переключення, блокування, запуск задач
S1.2, S2.2	дистанційне включення, відключення, переключення, блокування, запуск задач, зміна режимів роботи регуляторів

2.4. Опис функцій, що автоматизуються

Таблиця 2.3. Опис функцій, що автоматизуються

№	Машина, агрегат, установка	Параметр, місце відбору сигналу	Припустиме значення параметра	Вид Автоматизації	Характер контролю чи управління	Засоби управління та контролю, реалізації упр. дії
1	1-й корпус випарної станції	Рівень	25 % ± 5%	Регулювання	Управління	Вплив на насос подачі соку та клапан переливу соку
		Тиск	3.3 бар ± 0.1 бар	Регулювання	Стабілізація	Вплив на клапан подачі пари
		Температура	126 °C ± 1.5 °C	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора
2	2-й корпус випарної станції	Рівень	30 % ± 5%	Регулювання	Стабілізація	Вплив на клапани переливу соку
		Тиск	2.6 бар ± 0.1 бар	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора
		Температура	118 °C ± 1.5 °C	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора

Продовження таблиця 2.3.

3	3-й корпус випарної станції	Рівень	30 % ± 5%	Регулювання	Стабілізація	Вплив на клапани переливу соку
		Тиск	1.8 бар ± 0.1 бар	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора
		Температура	110 °C ± 1.5 °C	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора
4	4-й корпус випарної станції	Рівень	40 % ± 5%	Регулювання	Стабілізація	Вплив на клапани переливу соку
		Тиск	1.0 бар ± 0.1 бар	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора
		Температура	100 °C ± 1.5 °C	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора
5	5-й корпус випарної станції	Рівень	50 % ± 5%	Регулювання	Стабілізація	Вплив на клапан переливу соку та зливу сиропу в збірник
		Тиск	0.6 бар ± 0.1 бар	Регулювання	Управління	Вплив на клапан спуску пари
		Температура	85 °C ± 1.5 °C	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора

Продовження таблиця 2.3.

6	Колектор пари	Тиск	3.3 бар ± 0.1 бар	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора
		Температура	135 °С ± 1.5 °С	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора
7	Підігрівач	Температура	122 °С ± 2.5 °С	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора
8	Трубопровід	Витрата	7 м ³ /год ± 1.0	Регулювання	Управління	Авт/руч управління насосом подачі соку
		Вміст сухих речовин	65 % ± 5%	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора
9	Збірник сиропу	Рівень	0-100 %	Регулювання	Управління	Вплив на клапан подачі сиропу в збірник

2.5. Структурна схема комплексу технічних засобів

Структурна схема комплексу технічних засобів (КТЗ) охоплює всі рівні АСУТП, крім нижнього (польового) рівня, який відображається схемою автоматизації. Однак, схема КТЗ не може розроблятися без урахування вхідних і вихідних сигналів «польового» рівня.

Таблиця 2.4. Дані на базі яких розробляється структурна схема КТЗ

Вихідні дані	Джерело даних
Характеристики об'єкту автоматизації: місця контролю технологічних параметрів та управляючих дій на технологічній схемі процесу/виробництва; параметри навколишнього середовища; територіальне розміщення точок встановлення ТЗА та пунктів управління	ТЗ або завдання
вимоги до структури системи, вимоги до технічного забезпечення	
перелік сигналів та даних, які формують мережні інформаційні потоки між вузлами	схема функціональної структури + опис автоматизованих функцій(задач)
перелік та характеристика сигналів по інтерфейсним каналам між ПЛК, RIO та польовими засобами	схема автоматизації
характеристики промислових мереж	навчальна та довідникова література по промисловим мережам
характеристики мережних засобів вузлів	каталоги фірм-виробників ТЗА

Розроблені схеми комплексу технічних засобів будуть у повній мірі відображати структуру використовуваних технічних засобів, що дасть змогу, ефективно реалізувати запроектовану систему автоматизації. Крім того, така схема допоможе ефективно налагоджувати, експлуатувати та при потребі виконувати необхідні ремонтні роботи.

Комплекс технічних засобів типовими процесами повинен бути достатнім для виконання всіх автоматизованих функцій і включати в основному серійні вироби.

Елементи комплексу технічних засобів повинні мати інтерфейси, сумісні між собою, локальними обчислювальними мережами, а також з комплексу технічних засобів суміжних систем.

Моделі функціональних елементів комплексу технічних засобів повинні забезпечувати їх взаємозамінність при збігу функціонального призначення. Елементи комплексу технічних засобів, що розміщуються на тих чи інших виробничих ділянках, повинні мати технічні характеристики, достатні для нормальної роботи цих елементів при дії зовнішніх чинників, що виникають на цих виробничих ділянках. При необхідності повинні бути передбачені спеціальні засоби захисту від дії шкідливих чинників, що є на цих ділянках.

Таблиця 2.5. Відомості мережних технічних засобів

<i>Позначення</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кількість</i>	<i>Примітка</i>
1	2	3	4
ПК ДКС	ПК головного технолога	1	Офісного виконання
ТС ВЦ	Технологічний сервер	1	Офісного виконання
ПК ВИП	ПК оператора випарної станції	1	Процесор Intel Core i3-12100F, RAM 8192 MB
ПК КХЗ	ПК оператора відділення конденсатного господарства	1	Вже експлуатується Процесор Intel Core i3-12100F, RAM 8192 MB
ОП ВИП	Операторська панель випарної станції	1	HMISTO735
ПЛК ВИП	Програмований логічний контролер випарної станції	1	Modicon M340 BMX P34 2020 з ком. модулем BMX NOM 0200
ПЛК КХЗ	Програмований логічний контролер відділення конденсатного господарства	1	Вже експлуатується Modicon M340 BMX P34 2020 з ком. модулем BMX NOM 0200
RIO	Модуль віддаленого вводу-виводу	2	Advantys OTB
PDS1	Частотний перетворювач	1	Lenze SMD 380
SWITCH	Ethernet комутатор	1	D-Link DES-1008D/PRO

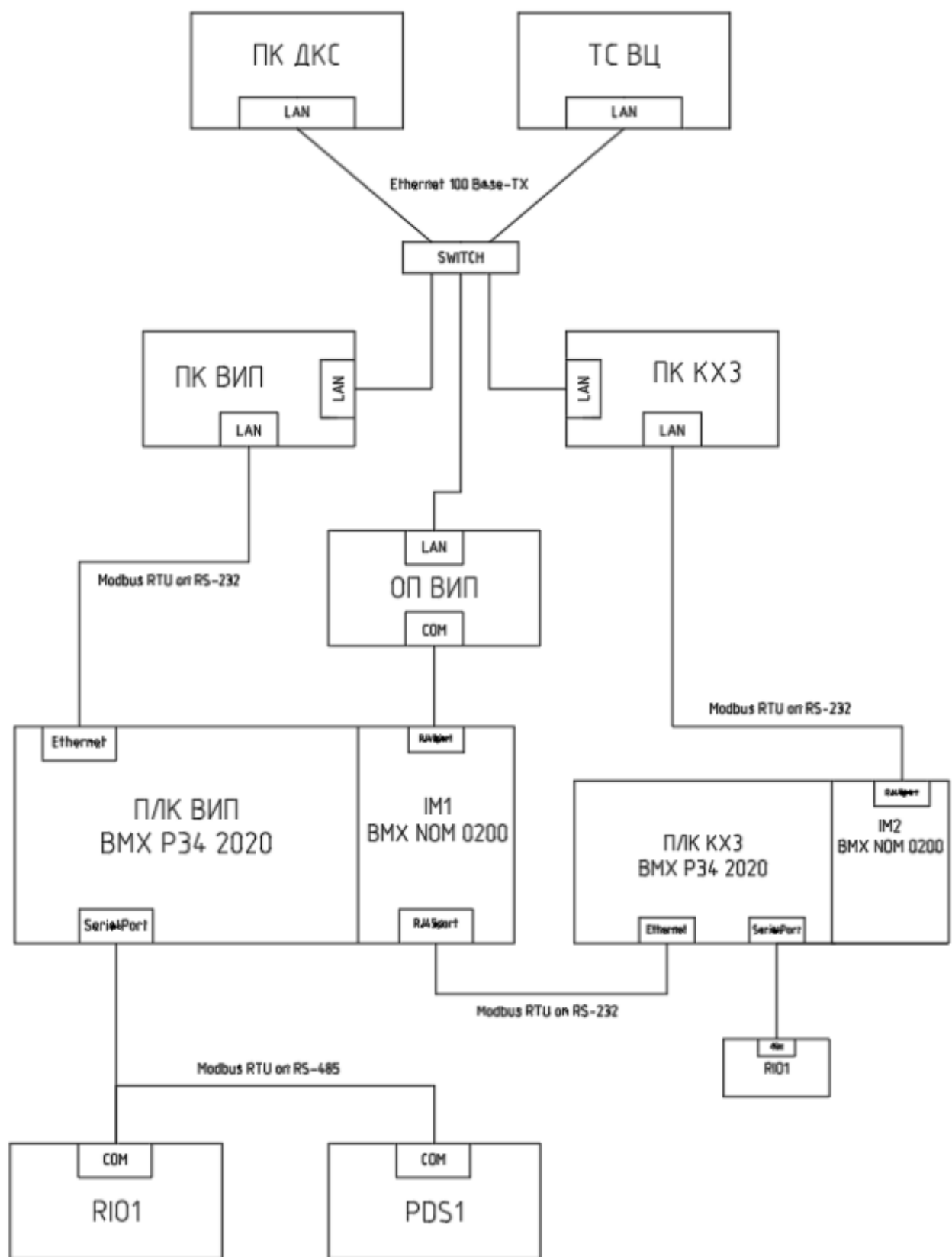


Рис. 2.10 Структурна схема комплексу технічних засобів АСУ ТП

2.6. Інформаційне забезпечення АСУ ТП виробництва та основного відділення

Інформаційне забезпечення полягає у відображенні умов, стану та результатів виробничого процесу, а також у взаємному обміні інформацією між управляючим органом та об'єктом управління з метою регулювання його діяльності.

Таблиця 2.6. Дані на базі котрих розробляють опис інформаційного забезпечення

Вихідні дані	Джерело даних
Перелік ТЗА до схеми КТС з вказівкою ком. модулів та портів	Структурна схема КТС
Перелік вхідних та вихідних мережних сигналів ПЛК та RIO, їх характеристики	Перелік вхідних/вихідних сигналів ПЛК та RIO
Функції інтегрованої АСУ виробництвом (перелік змінних)	Функціональна структура, опис функцій, що автоматизуються
характеристики промислових мереж	навчальна та довідникова література по промисловим мережам
характеристики мережних засобів вузлів	каталоги фірм-виробників ТЗА

Склад інформаційного забезпечення включає в себе такі елементи: інформаційне забезпечення автоматизованих систем управління, інформаційна система АСУ, програмне забезпечення інформаційної системи, системний аналіз інформаційного забезпечення, аналіз системи інформаційного забезпечення за

напрямами, аналіз циркуляції інформації, оцінки раціональності побудови потоків інформації, а також програмно-математичне забезпечення.

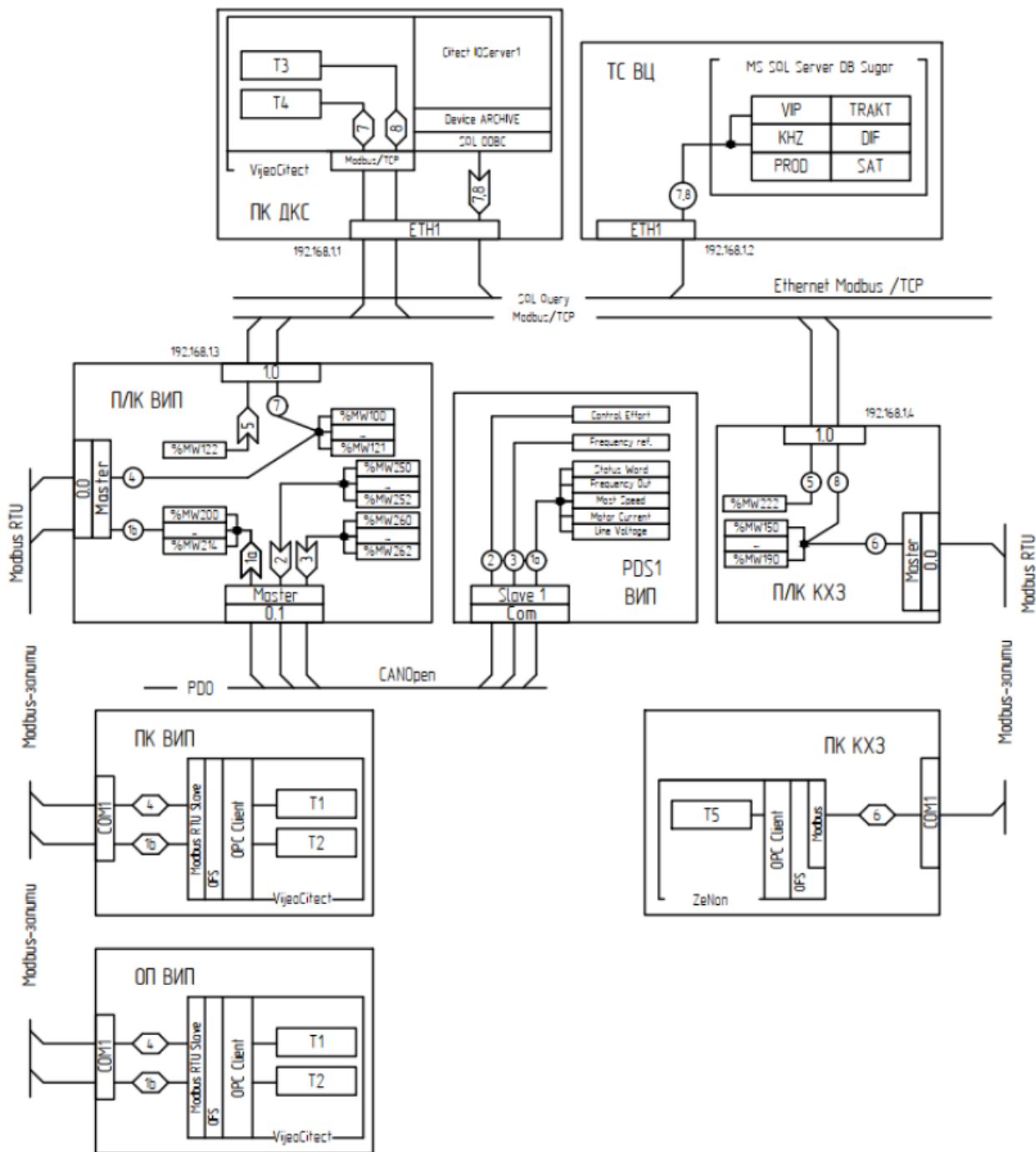


Рис. 2.11. Інформаційна структура мережі

Розділ 3. Розробка підсистеми управління технологічним процесом (обладнанням)

3.1. Схема автоматизації та специфікація засобів автоматизації польового рівня

Функціональна схема автоматизації технічним комплексом цукрового заводу з підсистемою випарної установки відображає наступні дії:

1) Подачу та контроль витрати відфільтрованого соку після II сатурації на I корпус випарної станції;
2) Регулювання та стабільність рівня рідини у випарному обладнанні;
3) Контроль тиску та стабілізація температури у колекторі пари;
4) Стабілізація та контроль температури в трубопроводі, який розташований після підігрівача і веде до першого корпусу випарної установки;
5) Регулювання тиску пари, температури та рівня в I корпусі випарної станції;
6) Регулювання розрідження в п'ятому відділенні випарної станції;
7) Контролювання вмісту сухих речовин соку після випарної установки;
8) Контроль та сигналізацію рівня в збірнику, який розташований за V корпусом випарної станції та з подальшою подачею на вакуум-апарат.

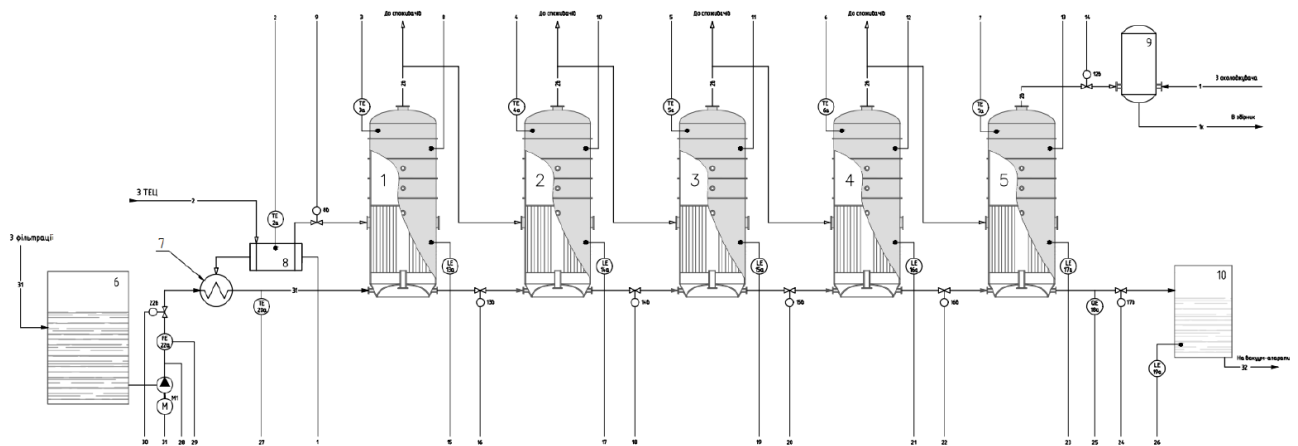


Рис. 3.1.1. Функціональна схема автоматизації технічним комплексом цукрового заводу з підсистемою випарної установки

Таблиця 3.1.1. Специфікація засобів автоматизації

№ п/п	№ поз. За схемою	Місце встановлення	Найменування і технічна характеристика виробу	Марка та тип	Кількість	Виробник
1	2	3	4	5	6	7
1	13а, 14а, 15а, 16а, 17а, 19а	По місцю	Ємнісний перетворювач рівня з аналоговим вихідним сигналом 4...20мА. Виконання з цифровим виходом HART	NivoCap CTK-405-2	6	Nivelco Угорщина
2	8в, 12в, 13в, 14в, 15в, 16в, 17в, 22в	По місцю	Виконавчий пневматичний механізм . Ржив.=140кПа, Рвих.=20-100кПа	BAUMANN серії 24000CVF	8	Emerson США
3	22а	По місцю	Витратомір-лічильник з овальними шестернями, які обертаються з певною частотою та виділяють імпульс при проходженні рідини через вимірювальну камеру за один оберт Живлення 24В	Kobold DOM A55HFC	1	KOBOLD Messring GmbH Німеччина
4	2а, 3а, 4а, 5а, 6а, 7а	По місцю	Термометр опору Pt100 з ініфікованим вихідним сигналом 4...20мА та діапазоном вимірювання - 50...+200°C. Живлення 24В.	SITRANS TF2	6	Siemens AG Німеччина
5	1а, 8а, 9а, 10а, 11а, 12а, 21а	По місцю	Вимірювальний перетворювач тиску з уніфікованим вихідним сигналом 4...20мА. Живлення 24В	SITRANS P серія DS III	7	Siemens AG Німеччина
6	18а	По місцю	Рефрактометр для вимірювання концентрації речовин з уніфікованим вихідним сигналом 4...20мА.	ATAGO серій PRM-100 alpha	1	ATAGO Японія
7	23а	На щиті	Блок ручного управління для перемикачів на ручне керування. Вихідний сигнал 4...20мА, Рвих.=100 Ом, Рвих.≤500 Ом	БРУ-17	1	Мікрол Україна

Продовження таблиці 3.1.1.

8	86, 126, 136, 146, 156, 166, 176, 226	На щиті	Електропневмематичний перетворювач. Перетворює пропорційний електричний сигнал 4...20мА або 0-10В в пропорційний пневматичний сигнал 20-100кПа, Рж=140кПа	ASCO Numatics Series 617 Sentronic LP	8	Emerson США
9	236	На щиті	Перетворювач частоти. Потужність 4кВт. Живлення 380В, трьох-фазне підключення	Lenze SMD 380 4 кВт	1	Lenze Німеччина
10	М	По місцю	Асинхронний двигун змінного струму, потужність 4кВт 750 об/хв. Живлення 380 В, трьох-фазне підключення	AIP 132 S8	1	UA-MOTOR Україна
11	SB1	По місцю	Кнопка з фіксацією, гробкоподібна. Номінальне робоче навантаження 110/230/600 В	LAY5-BT42	1	IEK Україна

3.2. Обґрунтування вибору технічних засобів для вимірювання, виконавчих механізмів (ВМ) та регулюючих органів (РО)

Термометр опору

Принцип дії термометрів опору заснований на властивостях провідників і напівпровідників, електричний опір яких змінюється зі зміною температури.

Для вимірювання температури випарника я обрав параметричний датчик SITRANS TF2 фірми Siemens. Цей датчик має цифровий дисплей для моніторингу та відображення виміряної температури, а також термометр опору з сенсором Pt100 для використання в польових умовах.

Перевагами вибору SITRANS TF2 були його міцний корпус, висока точність вимірювання, точне відображення з роздільною здатністю 1/100 С в максимальному діапазоні вимірювання, можливість параметризації вимірюваних значень і сповіщення про перевищення через РК-дисплей і червону світлодіодну індикацію.



Рис. 3.2.1. Зовнішній вигляд SITRANS TF2

Принцип роботи даного датчика полягає у наступному: датчик зовнішньої температури Pt100 живиться від стабілізованого джерела струму I_k . Зміна напруги на датчику відображає вимірювану температуру. Аналого-цифровий перетворювач (A/D) конвертує зміну напруги в цифровий сигнал. У мікроконтролері (μC) цифровий сигнал лінеаризується і виражається у числовій формі відповідно до даних, які зберігаються в EEPROM. Оброблені дані відображаються на дисплеї. Крім того, числові значення конвертуються в пропорційні температурі струмові сигнали за допомогою цифро-аналогових перетворювачів (D/A) і перетворювачів напруги в струм (U/I) IA (4...20 мА).

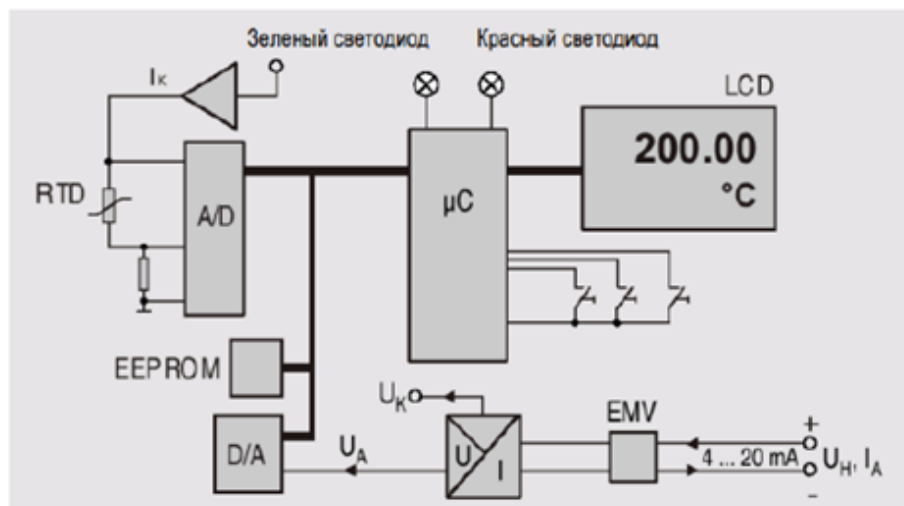


Рис. 3.2.2. Функціональна схема датчика температури SITRANS TF2

Головною перевагою SITRANS TF2 є застосування схеми живлення в два проводи, в якій впроваджено об'єднання ланцюга живлення перетворювача та одночасну передачу сигналу вимірювальної інформації. Цей сигнал представлений у вигляді уніфікованого аналогового сигналу по струму в межах 4...20 мА, який корелює з вимірюваною температурою.



Рис.3.2.3. Схема підключення SITRANS TF2 до двопровідної лінії живлення

Таблиця 3.2.1 Технічні параметри SITRANS TF2

Принцип вимірювання	
Термометр опору	Pt100, клас В у відповідності з DIN IEC 751
Вхід	
Величина вимірювання	Температура
Максимальний діапазон вимірювань	-50...+200 ⁰ C (-58...392 ⁰ F)
Мінімальний інтервал вимірювань	50K(90 ⁰ F)
Вихід	
Вихідний сигнал	4...20 mA
Нижня межа струму	3.6 mA
Верхня межа струму	23 mA
Вихід захищений від	Нерівномірної полярності, перенапруги, короткого замикання
Максимальний опір навантаження	($U_N - 12V$)/0.023A
Характеристика	Пропорційна температура
Живлення	
Напруга на клеммах вимірювального перетворювача тиску U_N	DC 12...30 V
Обмеження у застосуванні	
Тиск	Макс. 40 бар (580 psi)
Умови використання	
Температура навколишнього середовища	-28...+85 ⁰ C
Рекомендований діапазон температури	-10...+70 ⁰ C

Датчик тиску

Я вибрав датчик тиску SITRANS P Series DS III для індикації тиску і управління випарною установкою, які широко використовуються в харчовій промисловості.



Рис. 3.2.4. Вимірювальний перетворювач тиску SITRANS P Series DS III

Переваги вибору SITRANS P Series DS III включають: висока надійність і безпека, висока точність, широкі функції діагностики та моделювання, індивідуальна заміна вимірювальної комірки і електроніки без повторного калібрування, мінімальне відхилення від характеристики, низький довгостроковий дрейф, високоякісні матеріали для деталей, що контактують з вимірюваним середовищем, діапазон вимірювання від 0,01 бар до 400 бар для DS III з інтерфейсом HART; перебудований інтервал вимірювання від 1 бар до 400 бар для DS III з інтерфейсом PROFIBUS PA або FOUNDATION Fieldbus; параметрування за допомогою клавш керування та HART- комунікації.

У цьому випадку основною перевагою використання SITRANS P DS III є те, що протокол SIEMENS PROFIsafe гарантує безпечну і надійну передачу інформаційних даних з польового рівня на рівень управління.

Принцип роботи даного датчика. Вхідні значення з датчика (1) перетворюються в електричний сигнал. Цей сигнал підсилюється вимірювальним підсилювачем (2) і оцифровується аналого-цифровим перетворювачем (3). Цифрова інформація обробляється мікроконтролером, коригується на лінійність і температурні характеристики і перетворюється у вихідний струм від 4 до 20 мА за допомогою цифро-аналогового перетворювача (5). Діодний ланцюг (10) забезпечує захист від зміни полярності. Конкретні параметри вимірювальної комірки, електроніки та налаштування параметрів записуються в двох енергонезалежних блоках пам'яті (6). Перший блок пам'яті підключений до вимірювальної комірки, а другий - до електроніки. Це дозволяє замінювати електроніку та/або вимірювальну комірку (модульна конструкція). Кнопка керування (8) може бути використана для параметризації вимірювального перетворювача і зчитування вимірних значень, результати вимірювань, повідомлення про помилки і режим роботи цифрового дисплея (9) можна зчитувати безпосередньо на місці вимірювання; HART-модем (7) дозволяє параметризацію по протоколу відповідно до специфікації HART.



Рис. 3.2.6. Зовнішній вигляд ємнісного рівнеміра NivoCap

Принцип функціонування даного пристрою полягає в тому, що ємнісні рівнеміри ґрунтуються на оцінці рівня продукту в резервуарі шляхом вимірювання електричної ємності датчика. Активний зонд пристрою та стінка ємності (або заземлений другий зонд, якщо стінка ємності непровідна) утворюють конденсаторну пластину.

При наповненні продуктом, діелектрична проникність між пластинами конденсатора змінюється, що призводить до зміни його ємності. У початковому стані ємність конденсатора складає C_0 , тоді як після заповнення продуктом вона стає CT . Ці значення фіксуються пристроєм під час фази навчання і зберігаються в його пам'яті. При збільшенні або зменшенні рівня вимірюваного середовища пристрій реєструє зміни ємності конденсатора. Отримані дані трансформуються

пристроєм в пропорційний вихідний сигнал, що свідчить про те, що вимірювання рівня продукту та зміна ємності прямо пропорційні.

Однією з ключових переваг ємнісних рівнемірів є їх високий поріг чутливості. Ця особливість гарантує, що NivoCap забезпечує високу точність вимірювань, навіть при низьких рівнях продукту.

У випадку, коли відсутня пряма пропорційність між зміною ємності і зміною рівня продукту, може бути використана 32-точкова лінеаризація. Крім того, NivoCap можна програмувати для обчислення місткості та ваги та передачі відповідних даних.

Таблиця 3.2.2. Технічні дані рівнеміра NivoCap

Напруга живлення	12-36 В постійного струму
Температура навколишнього середовища	-30...+200 °C
Температура процесу	-25...+70°C
Тиск	Не більше 40 бар
Точність	±0,3% від довжини зонту
Монтаж	¾" BSP; 1" BSP; 1½" BSP; Triclamp; трубна муфта (DIN 11851);
Вихід	4...20 мА, HART
Діапазон виміру	0,2 — 20 м

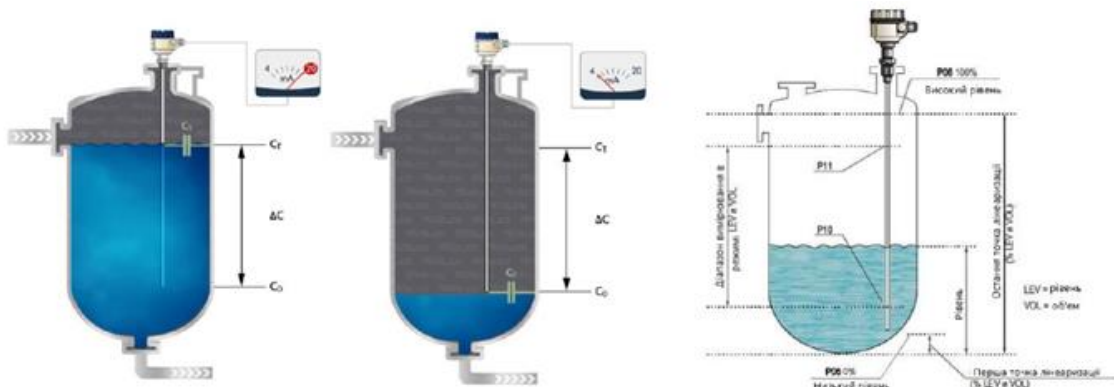


Рис. 3.2.6. Наочна залежність струмового сигналу відповідно до рівня в ємності

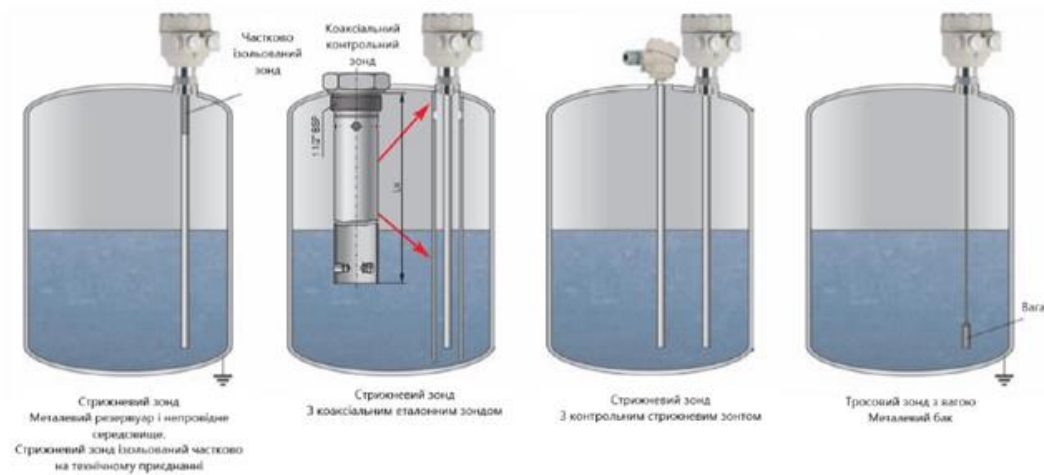


Рис. 3.2.7. Приклад встановлення ємнісного рівнеміра в резервуарі

Основні функції можна встановити за допомогою кнопок програмування; дисплей SAP-202 дозволяє просто програмувати, включаючи повне програмування параметрів.

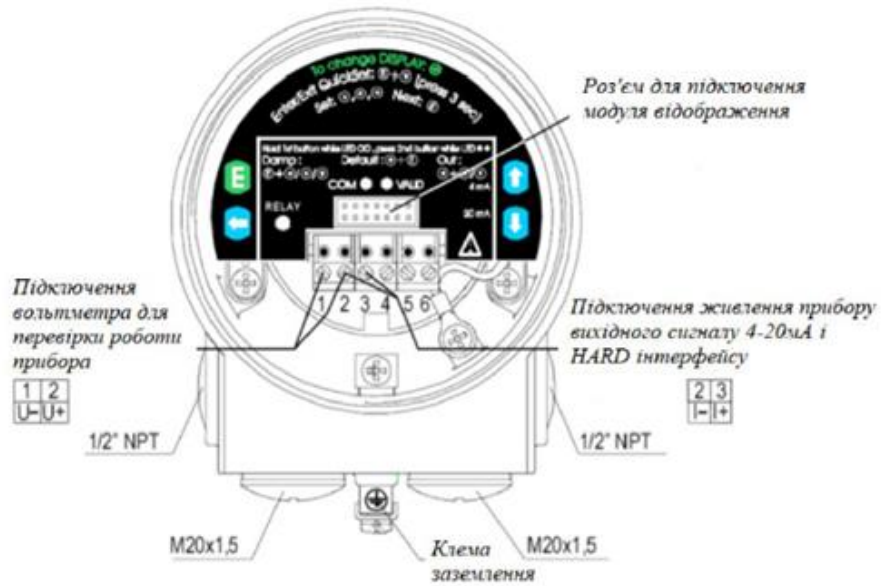


Рис. 3.2.8. Електрична схема підключення NivoCap CTK-405-2

Цифрова (HART) інформація обробляється, відображається і, при необхідності, може бути передана на ПК через лінію зв'язку RS485. Також можливе дистанційне програмування датчика: візуалізація на ПК можлива за допомогою програмного забезпечення для візуалізації процесів NIVISION.



Рис. 3.2.9. Схема з'єднання з ПК

Лічильник потоку з зубчастим колесом

Для вимірювання та контролю витрати в трубопроводах у відділенні випарної установки я використав витратомір-лічильник Kobold DOM з імпульсним виходом.



Рис. 3.2.10. Зовнішній вигляд витратомір-лічильник Kobold DOM

Принцип роботи даного пристрою ґрунтується на тому, що рух рідини призводить до обертання двох еліптичних зубчастих роторів у вимірювальній камері. Під час кожного обертання фіксується певна кількість рідини, яка протікає через лічильник. Вбудовані в ротори магніти генерують імпульсний вихід з високою роздільною здатністю. Цей імпульсний вихід може бути використаний двома способами: по-перше, вбудований безпосередньо в процес управління та моніторингу обладнання; по-друге, як вхідний сигнал для додаткового обладнання або пристроїв, розташованих поблизу або безпосередньо на лічильнику.

Основні переваги цієї технології вимірювань полягають у можливості точного вимірювання витрат і кількості більшості чистих рідин, незалежно від провідності або інших властивостей рідини, з мінімальним впливом на лічильник.

Таблиця 3.2.3. Характеристики Kobold DOM

Параметри	Значення
Точність	$\pm 0,2\%$ від значення
Стабільність	В середньому $\pm 0,03\%$
Клас захисту	IP 66/67
Температурний діапазон	$-20 \dots +120$ °C
Кабельне ущільнення	M 20x1.5 (стандарт), 1/2" NPT адаптер (опціонально)

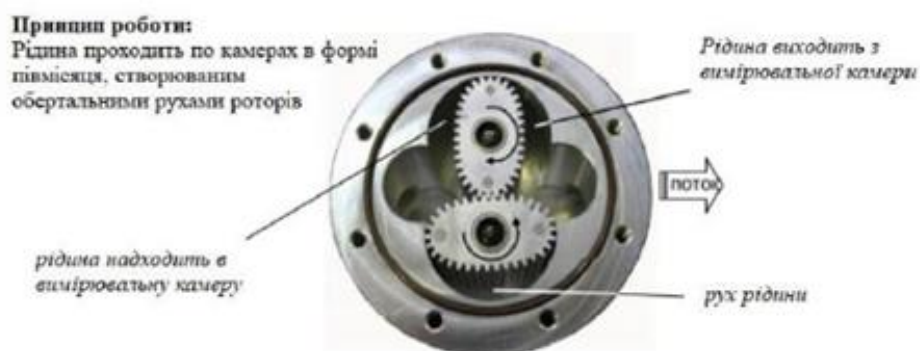


Рис. 3.2.11. Внутрішня будова Kobold DOM з імпульсним виходом



Рис. 3.2.12. Приклад експлуатації витратоміра-лічильника Kobold DOM

Датчик вмісту сухих речовин

Для вимірювання та контролю значення вмісту сухих речовин після останнього випарного корпусу я використав рефрактометр АТАГО, котрий використовується для оцінки концентрації речовин у потоці безперервним способом.



Рис. 3.2.13. Зовнішній вигляд рефрактометр PRM-100 alpha

Промисловий рефрактометр PRM-100 alpha складається з двох блоків. Вимірювальний блок встановлюється безпосередньо на трубу та вимірює показник заломлення рідини всередині. Інформація про показник заломлення та температуру передається по каналу RS-485 - блок відображення інформації.

Сигнали, такі як n_D і концентрація, отримані від вимірювального блоку, перетворюються, обчислюються (автоматична температурна компенсація) і відображаються на цифровому екрані.

Блок оснащений виходом для реєстратора і виходом для передачі інформації про значення, що виходять за межі заданого діапазону.

Два блоки з'єднуються кабелем довжиною не менше 15 м.

Принцип функціонування даного пристрою базується на явищі заломлення світла, яке виникає, коли напрямок світлового променя змінюється під час проходження через середовище, що відрізняється від середовища його початкового поширення.

Метод, що використовується в рефрактометрах серії ATAGO PRM, використовує світло, відбите від об'єкта. Світло випромінюється джерелом оптичного зображення, розташованим у вимірювальній секції, проходить через призму, відбивається на межі розділу між призмою і зразком, знову проходить через призму і потрапляє в приймач оптичної екстракції. Отриманий сигнал перетворюється в значення індексу руйнування.

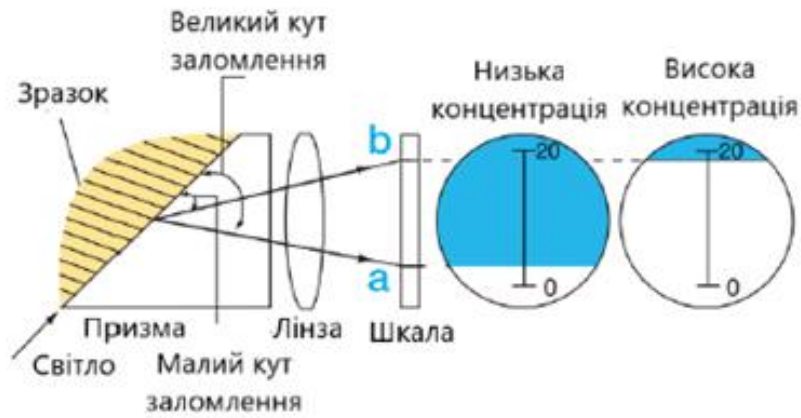


Рис. 3.2.14. Система проходження світла

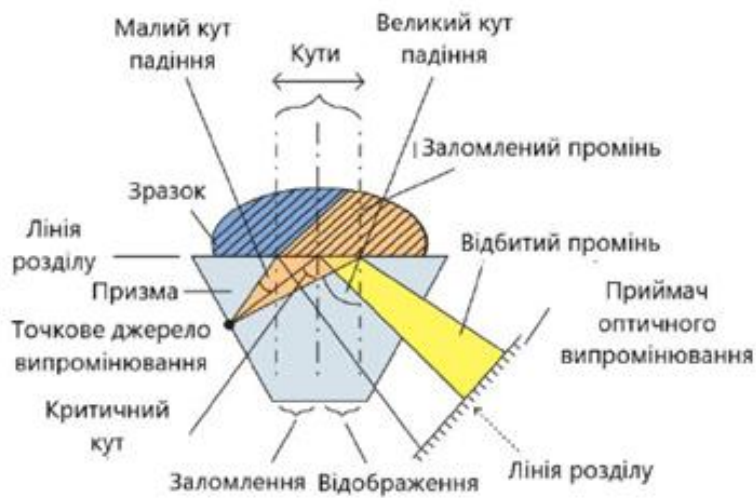


Рис. 3.2.15. Система відбивання світла

Технологічні рефрактометри відіграють ключову роль у харчовій промисловості, де вони необхідні для перевірки якості виготовленої продукції, а також для точного вимірювання та контролю концентрацій розчинів.

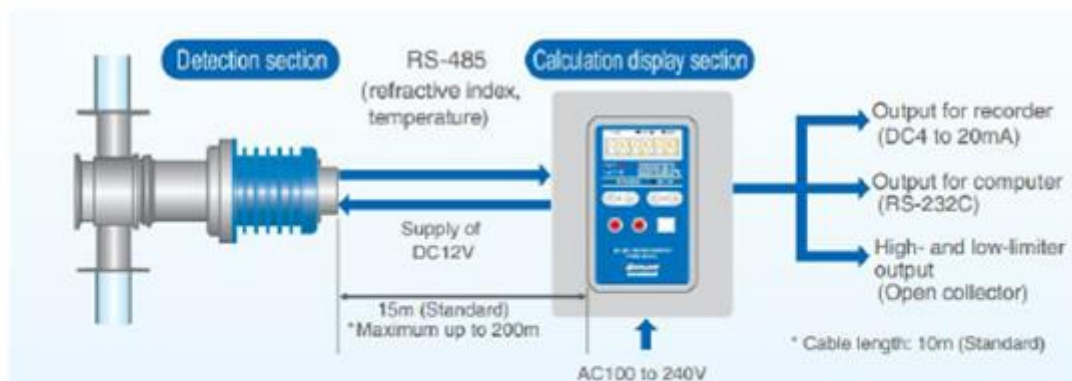


Рис. 3.2.16. Зображення з'єднання розділу виявлення та розділу відображення результату

Таблиця 3.2.4. Технічні характеристики рефрактометр PRM-100 alpha

Предмети вимірювання	Один із показників заломлення (nD), Brix (температурна компенсація відповідно до розчину сахарози), концентрація (%) (температурна компенсація за зразками) і температура
Діапазон вимірювання	Показник заломлення (nD) від 1,32000 до 1,55700, Brix від 0,00 до 100,00%
Мінімальна індикація	Показник заломлення (nD) 0,0001 або 0,00001, Brix 0,1% або Brix 0,01% (за вибором)
Точність вимірювання	Показник заломлення (nD) $\pm 0,00010$, Brix $\pm 0,05\%$
Налаштування верхнього та нижнього лімітів	Високі та низькі межі контролю можна встановити за допомогою клавіш
Елементи відображення	Показник заломлення (nD), Brix, концентрація (%), температура ($^{\circ}\text{C}$)
Вихідні елементи	Індекс заломлення (nD), Brix або концентрація (%) і температура ($^{\circ}\text{C}$)
Спосіб виведення	RS-232C, DC4 до 20 mA
Вихід тривоги	Вихід з відкритим колектором для налаштувань верхнього та нижнього ліміту (вихід тривоги)
Блок живлення	Від 100 до 240 В змінного струму, 50/60 Гц
Кабель	Розділ виявлення - Розділ відображення розрахунків (живлення 12 В і RS-485) Довжина: стандартна 15м (максимальна до 200м)
Стійкість до тиску	1,0 МПа (секція виявлення)
Відносна вологість	від 5 до 40 $^{\circ}\text{C}$, від 30 до 90% відносної вологості
Міжнародний клас захисту	Секція виявлення: IP66, Секція дисплея розрахунків: IP65
Розміри та вага	Секція виявлення: 10,8 \times 26,6 \times 10,8 см, 3,3 кг, секція дисплея розрахунків: 19,2 \times 10 \times 24 см, 3,3 кг

Пневматичний клапан

Я використовую регулювальний клапан серії BAUMANN 24000CVF для регулювання потоку соку через випарну ємність.

Універсальний прохідний клапан BAUMANN 24000CVF є частиною серії клапанів з висувним штоком, які можна використовувати для регулювання тиску, температури, рівня і витрати.

Дизайн та структура регулюючого клапана BAUMANN 24000CVF сприяють високій ефективності завдяки мінімізації мертвих зон і гістерезису, високій пропускній здатності, вдосконаленим функціям управління, надійному герметизаційному замиканню та удосконаленій системі ущільнення, що дозволяє відповідати вимогам та умовам експлуатації.



Рис. 3.2.17 Зовнішній вигляд пневматичного клапану Baumann 24000CVF

Baumann 24000CVF для промислового використання відзначається перевагою у компактній та легкій конструкції, що ідеально вписується в трубопровідні системи з обмеженим простором.

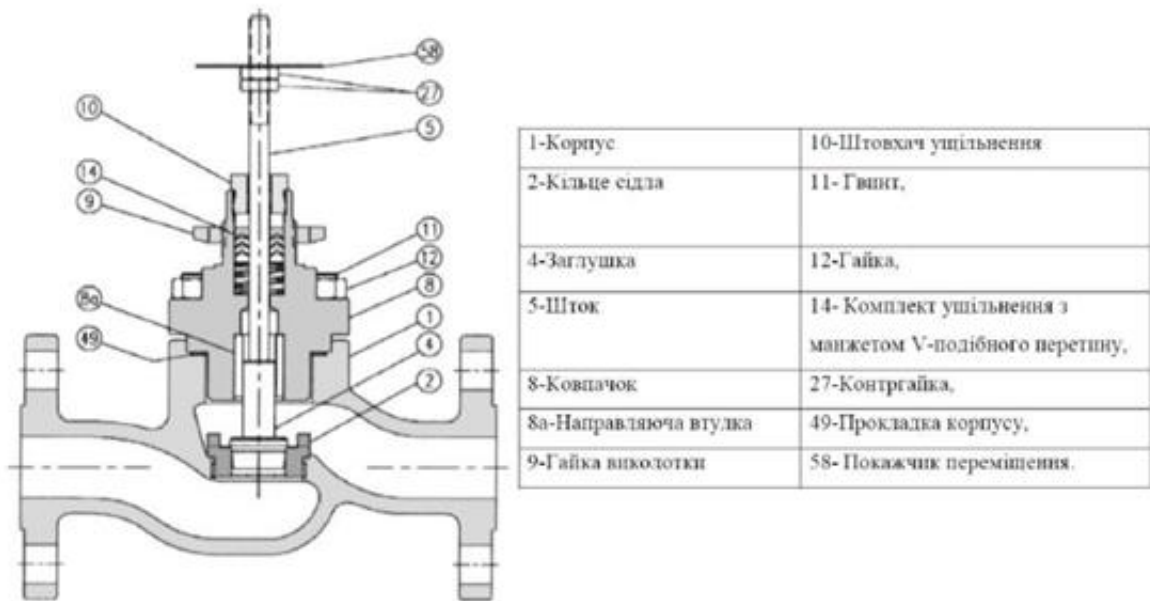


Рис. 3.2.18. Корпус клапану Vaumann 24000CVF в зборі з стандартним підпружинним ущільнувачем

Особливості Vaumann 24000CVF:

- Компактна та легка конструкція зменшує витрати на встановлені труби.
- Доступні кінцеві з'єднання ASME та EN, які відповідають стандартам трубопроводів.
- Контурна заглушка з повним підйомом, що направляє, дозволяє змивати сміття через корпус клапана.
- Стандартним є аустенітна нержавіюча сталь S31600 та доступна накладка з нержавіючої сталі S41600.
- Для відповідності мінливим вимогам процесу доступні кілька варіантів обробки.

Частотний перетворювач

Перетворювач частоти серії SMD було розроблено задоволення потреб широкого сектора глобального ринку перетворювачів частоти.

Потребами даного сегмента є управління за лінійним чи квадратичним законом скалярного (безвекторного) управління.



Рис. 3.2.19 Зовнішній вигляд перетворювача частоти Lenze SMD 380 4 кВт

Основні функції та характеристики перетворювачів серії SMD: пуск та регулювання швидкості електродвигуна; реверсивний рух, зупинка, прискорення та уповільнення електродвигуна; компактність, простота конструкції, мала вага; лінійне або квадратичне керування електродвигуном; гальмування електродвигуна - динамічне або постійним струмом.

Основні особливості перетворювачів серії SMD:

- Частота комутації 4, 6, 8 та 10 кГц
- Вільно програмований аналоговий вхід (0-10 В, 0-20 мА, 4-20 мА)
- 2-га рампа розгону/зупинки
- 3 фіксовані частоти, що настроюються
- PI-регулятор
- S-крива
- RS-485 (Modbus-RTU), CAN-BUS
- Вихідна частота до 240 Hz – підходить для застосування з високошвидкісними шпинделями
- Унікальний модуль пам'яті EPM
- Компактність
- Дозволяє працювати з двигунами більшої номінальної потужності при меншому навантаженні

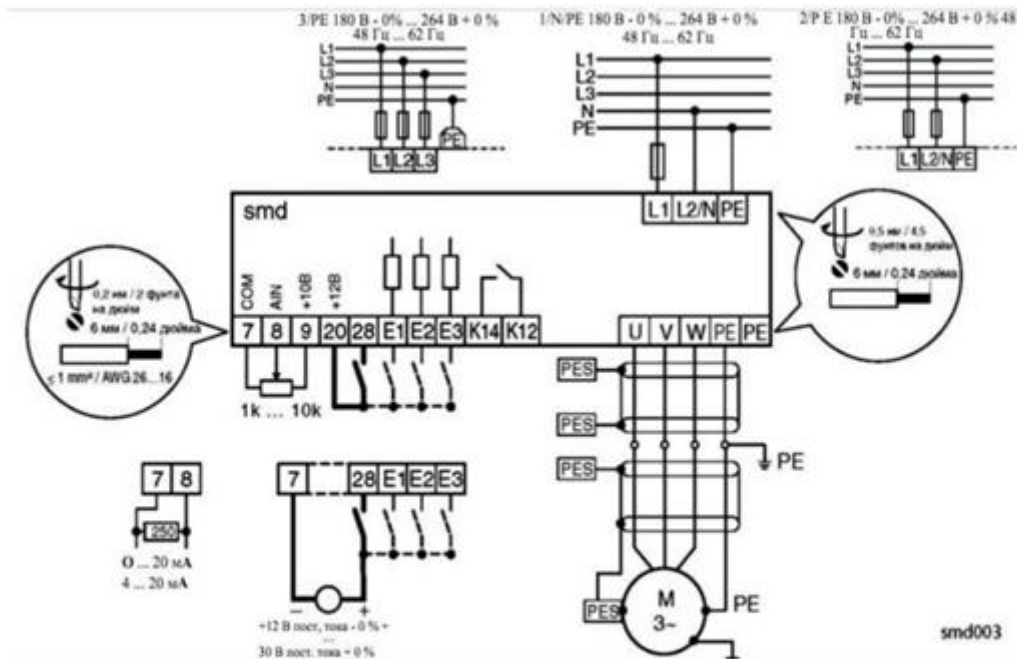


Рис. 3.2.20. Схема підключення перетворювача частоти Lenze SMD 380 4 кВт

Блок ручного управління

Блок ручного керування BRU-17 призначений для використання в локальних і комплексних системах промислової автоматизації у виробничих процесах як станція ручного керування аналоговими виконавчими механізмами або як ручний задавач для спрямованих аналогових сигналів.

BRU-17 має гальванічну розв'язку між входами, виходами, ланцюгами живлення та інтерфейсами.



Рис. 3.2.21. Вигляд BRU-17

Внутрішня пам'ять програм BRU-17 включає низку стандартних функцій для візуалізації та контролю технічних процесів, а також вирішення більшості інженерних задач. Ці функції включають в себе можливість порівняння результатів перетворення за допомогою вставок MIN і MAX та сигналів відхилення. Також передбачено програмне калібрування каналів з використанням зовнішніх аналогових еталонів, фільтрацію цифрових сигналів, масштабування шкал вимірювальних параметрів, видобування квадратного кореня і лінеаризацію вимірюваних значень.

Параметри конфігурації блоку ручного управління БРУ-17 знаходять збереження в незалежній пам'яті, і прилад має можливість відновлювати виконання завдань управління після переривання напруги живлення. Використання батареї резервного живлення не передбачено.

Таблиця 3.2.5. Технічна характеристика БРУ-17

Аналогові вхідні сигнали	
Кількість аналогових входів	1
Типи вхідних аналогових сигналів - уніфіковані	0-5мА ($R_{вх}=400 \text{ Ом}$), 0(4)-20 мА ($R_{вх}=100 \text{ Ом}$), 0-10В ($R_{вх}>25\text{кОм}$)
Роздільна здатність АЦП	16 розрядів
Гальванічна ізоляція	Входи гальванічно ізольовані від виходів та інших ланцюгів, напруга гальванічної розв'язки не менше 500 В
Межа основної наведеної похибки вимірювання вхідних параметрів	$\leq 0.2 \%$
Межа допустимої додаткової похибки, викликаній зміною температури навколишнього середовища	$< 0.2 \%$ / 10 °С
Період виміру, не більше	0.1 сек
Аналогові вихідні сигнали	
Кількість аналогових виходів	1
Типи вихідних аналогових сигналів	0-5 мА ($R_{н}\leq 2\text{кОм}$), 0(4)-20 мА ($R_{н}\leq 500 \text{ Ом}$), 0-10В ($R_{н}\geq 2\text{кОм}$)
Основна наведена похибка формування вихідного сигналу	$\pm 0,2\%$
Цифрова індикація	
Точність індикації	$\pm 0,01\%$
Висота цифр світлодіодних індикаторів	20 мм
Послідовний інтерфейс RS-485	
Тип каналу	синхронний напівдуплексний (прийом та передача йдуть по одній парі проводів з поділом за часом)
Кількість приймачів	32 приймача на одному сегменті
Максимальна довжина лінії в межах одного сегмента мережі	1200 метрів
Кількість активних передавачів	1 (тільки один активний передавач)
Максимальна кількість вузлів у мережі	250 з урахуванням магістральних підсилювачів
Вид кабелю	Вита пари, екранована вита пари
Гальванічна розв'язка	інтерфейс гальванічно ізольований від інших входів-виходів та решти ланцюгів (напруга гальванічної розв'язки не менше 500 В)
Протокол зв'язку	Modbus режим RTU (Remote Terminal Unit)

Сигнали підключаються через підпружинені клемні роз'єми на задній панелі BRU-17.

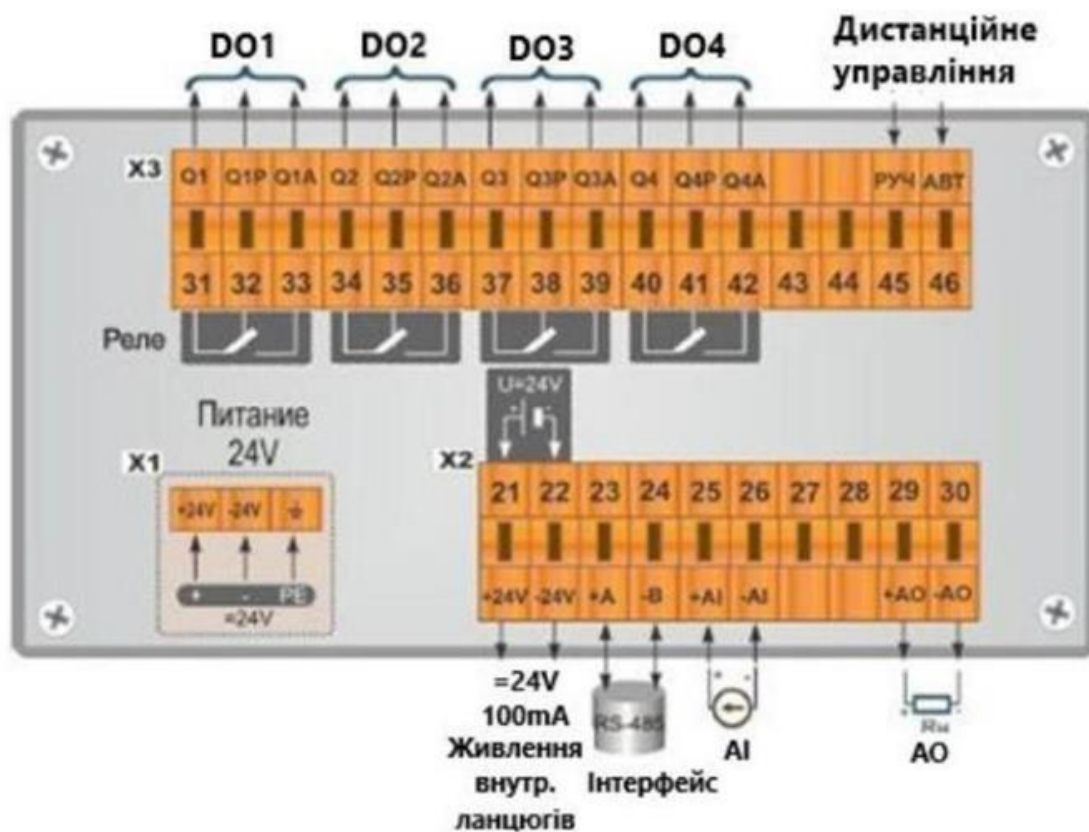


Рис. 3.2.22. Підключення до БРУ-17

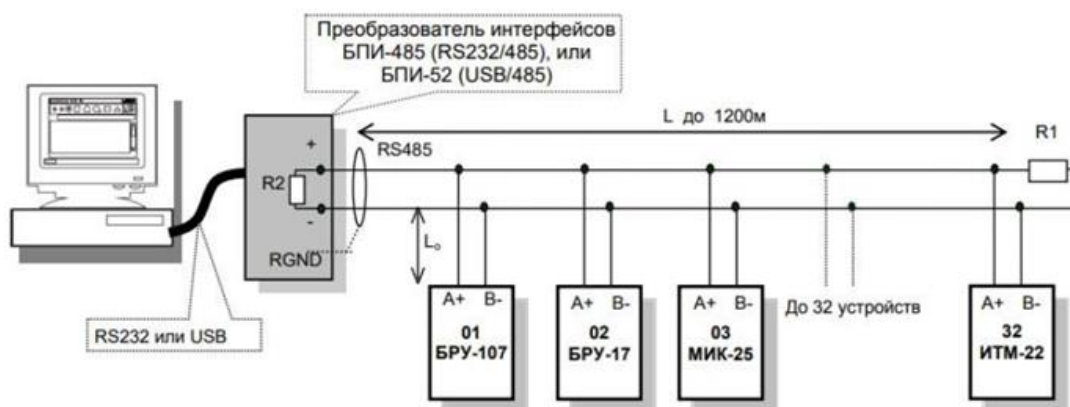


Рис. 3.2.23 Організація інтерфейсного зв'язку між комп'ютером та блоками або контролерами

Поршневий компресор

Для забезпечення ефективної роботи всіх клапанів у системі випаровування необхідно було вибрати компресор, який забезпечить необхідний тиск для функціонування всієї пневматичної системи.

Тому, для використання стисненого повітря у пневматичних інструментах був обраний потужний трифазний поршневий компресор Aircast SB4/C-100.LB40. Цей компресор виготовлений з високоякісних та міцних матеріалів, які здатні витримувати значні навантаження під тиском до 10 бар.



Рис. 3.2.24. Зовнішній вигляд поршневого компресора Aircast

Особливості поршневого компресора Aircast SB4/C-100.

- Компресор оснащений потужними трифазними поршнями, що забезпечують

високий рівень ефективності та продуктивності при використанні стисненого повітря.

- Виготовлений з міцних та високоякісних матеріалів, що гарантує довгий термін служби та надійність в роботі компресора.

- Має здатність витримувати великі тискові навантаження до 10 бар, що робить його ефективним для використання в різноманітних завданнях.

- Компресор спеціально розроблений для використання у пневматичних інструментах, забезпечуючи надійну подачу стисненого повітря для їх ефективної роботи.

Загалом, ці особливості роблять Aircast SB4/C-100 високоефективним та надійним вибором для задоволення потреб у стисненому повітрі в різних сферах застосування.

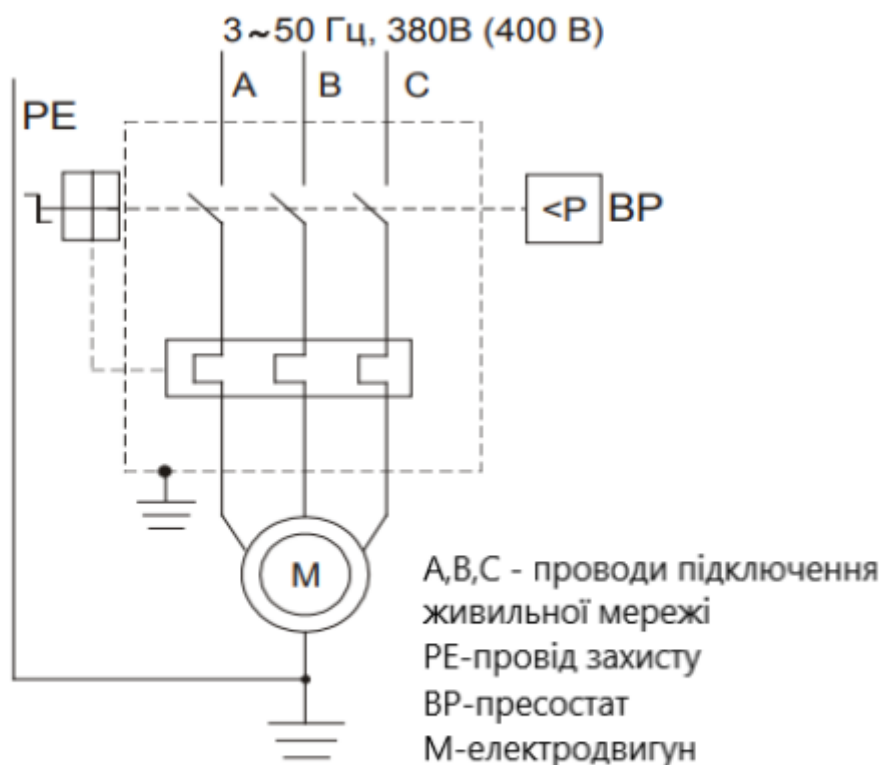


Рис. 3.2.25. Принципова електрична схема

Електричний трьохфазний двигун

Загальнопромисловий трифазний двигун АІР 132 S8 має потужність 4 кВт і частоту обертання 750 об/хв. Пристрій працює від мережі 220, 380, 660В з частотою 50 або 60 Гц.



Рис. 3.2.26. Зовнішній вигляд трифазного двигуна АІР 132 S8

Таблиця 3.2.6. Технічні характеристики двигуна АІР 132 S8

Потужність	P	4,0 кВт
Частота обертання умовна (фактична)	ν	750 (720) об/хв
Напруга (Δ/Y)	U	380/660 В
Сила струму	I	10,3 А
ККД	η	81,0%
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi$	0,73
Співвідношення крутних моментів	M_p/M_n	1,9
Співвідношення крутних моментів	M_{max}/M_n	2,0
Співвідношення струмів	I_p/I_n	6,0
Момент інерції	J	0,0690 кг·м ²
Рівень шуму	L	68 дБ(А)
Вага	m	70 кг

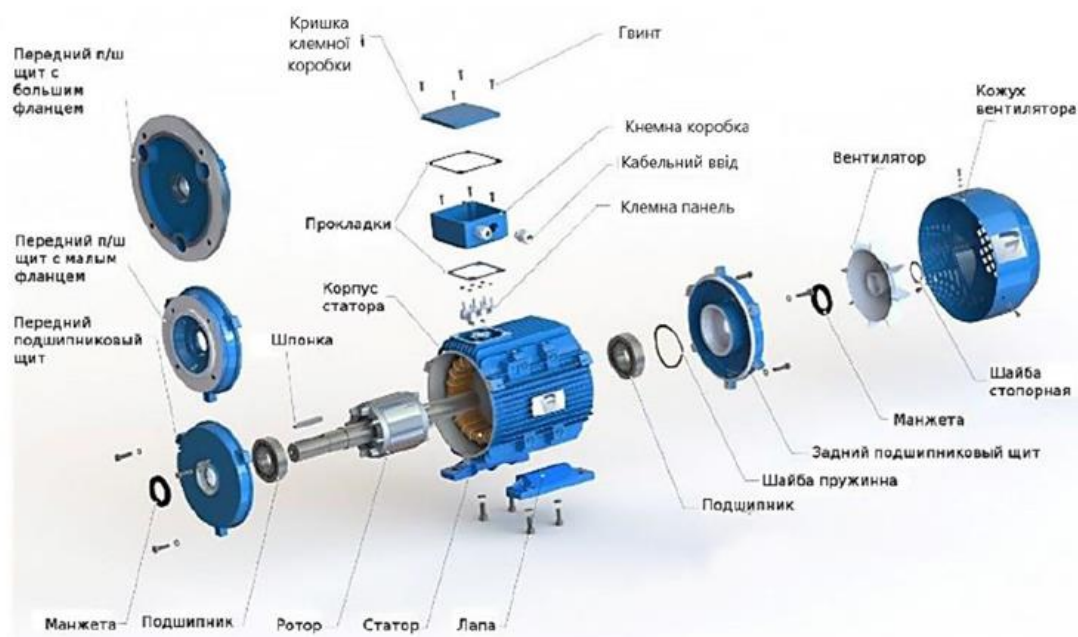


Рис. 3.2.27. Конструкція асинхронного електричного двигуна

Трифазні асинхронні двигуни розроблені для експлуатації від трифазної системи змінного струму. Вони володіють більшою продуктивністю, порівняно з

однофазними двигунами. Трифазні мотори, що мають трифазне підключення, забезпечують стабільну функціональність обладнання.

Трифазні двигуни доступні зі схемами підключення трикутник і зірка, а також з комбінацією з'єднань зірка і трикутник.

Схема підключення "зірка":

За замовчуванням електродвигуни АІР можна підключати до мереж 380 і 660 вольт за схемою "зірка". Початок обмотки підключається до кожної фази, а кінець обмотки підключається в загальній точці. Зірка використовується для плавного пуску зі зниженими пусковими струмами.

Недоліком при тривалій експлуатації є те, що двигун працює з потужністю на 30% меншою, ніж зазначено на заводській табличці.

Перевага підключення електродвигуна АІР «зіркою»: високий ККД, плавні пуски, допускаються короточасні навантаження, підвищена надійність.

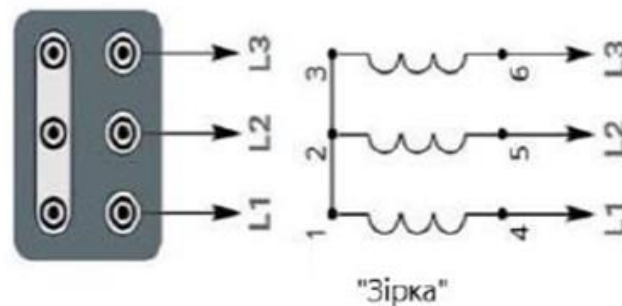


Рис. 3.2.28. Схема підключення «Зірка»

На бирці електродвигуна вказано " Δ/Y 220/380" або " Δ/Y 380/660" використовують "трикутник", підключають до мережі 380/660 Вольт. Ця схема використовується при підключенні двигуна:

- Виконання 220/380 В до мережі 220 Вольт замість 380 В;

- Виконання 380/660 В до мережі 380 Вольт замість 660 В.

Внаслідок цього, початок кожної обмотки з'єднаний з кінцем попередньої обмотки. Кожна обмотка втілює собою одну зі сторін рівностороннього трикутника, що є джерелом її назви.

Двигуни АІР володіють перевагами у вигляді максимальної потужності і покращеного тягового зусилля. Однак недоліком у контексті пускового моменту є високий струм під час запуску двигуна, що може призвести до перегрівання ізоляції обмоток.

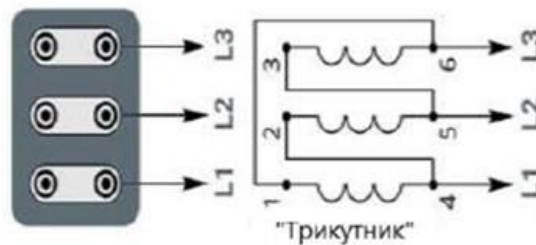


Рис. 3.2.29. Схема підключення «трикутник»

Схему «зірка-трикутник» застосовують для трифазних двигунів 380/660 Вольт для роботи в мережі 380 Вольт.

Його перевагами є запобігання високим пусковим струмам і робота з максимальним ККД.

Двигун запускається за схемою "зірка", а під час робочого режиму переходить на схему "трикутник". Цей перехід здійснюється за допомогою магнітних пускачів або пакетних перемикачів (K1, K2, K3). У випадку двигунів потужністю понад 100 кВт використовується комбінована схема.

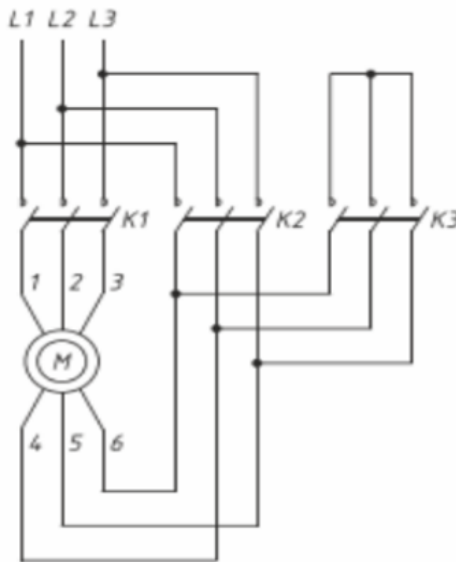


Рис. 3.2.30. Схема підключення «зірка-трикутник»

Перетворювач електронне pneumatичний

План автоматизації для комплексу цукрового заводу з включеними підсистемами випарної установки передбачав використання пневматичної системи управління регуляторами, що вимагало використання електронне pneumatичних перетворювачів.

З цієї причини я вибрав в якості ЕПП Sentronic LP серії 617 компанії ASCO Numatics. Тепер це вискоефективний і економічно вигідний пропорційний клапан з цифровим керуванням, який повністю відповідає вимогам регулювання тиску.



Рис. 3.2.31. Зовнішній вигляд ЕПП Sentronic LP серії 617 ASCO Numatics

Компанія Emerson представила пропорційні клапани регулювання тиску ASCO Numatics Sentronic LP (серія 617) з інтеграцією зв'язку IO-Link для забезпечення економічно ефективного та надійного контролю та діагностики на підтримку практик прогнозного технічного обслуговування.

Застосування зв'язку IO-Link для отримання інформації про ці пристрої на підприємстві сприяє подальшій реалізації концепцій Індустрії 4.0 та промислового Інтернету речей (IIoT). Ці концепції сприяють підвищенню надійності, доступності та прибутковості підприємства.

Універсальні клапани Sentronic LP дозволяють оптимізувати процес незалежно від вимог застосування. Цифрові регулятори тиску Sentronic Plus точно контролюють тиск, потік, силу, швидкість і лінійне або кутове положення.

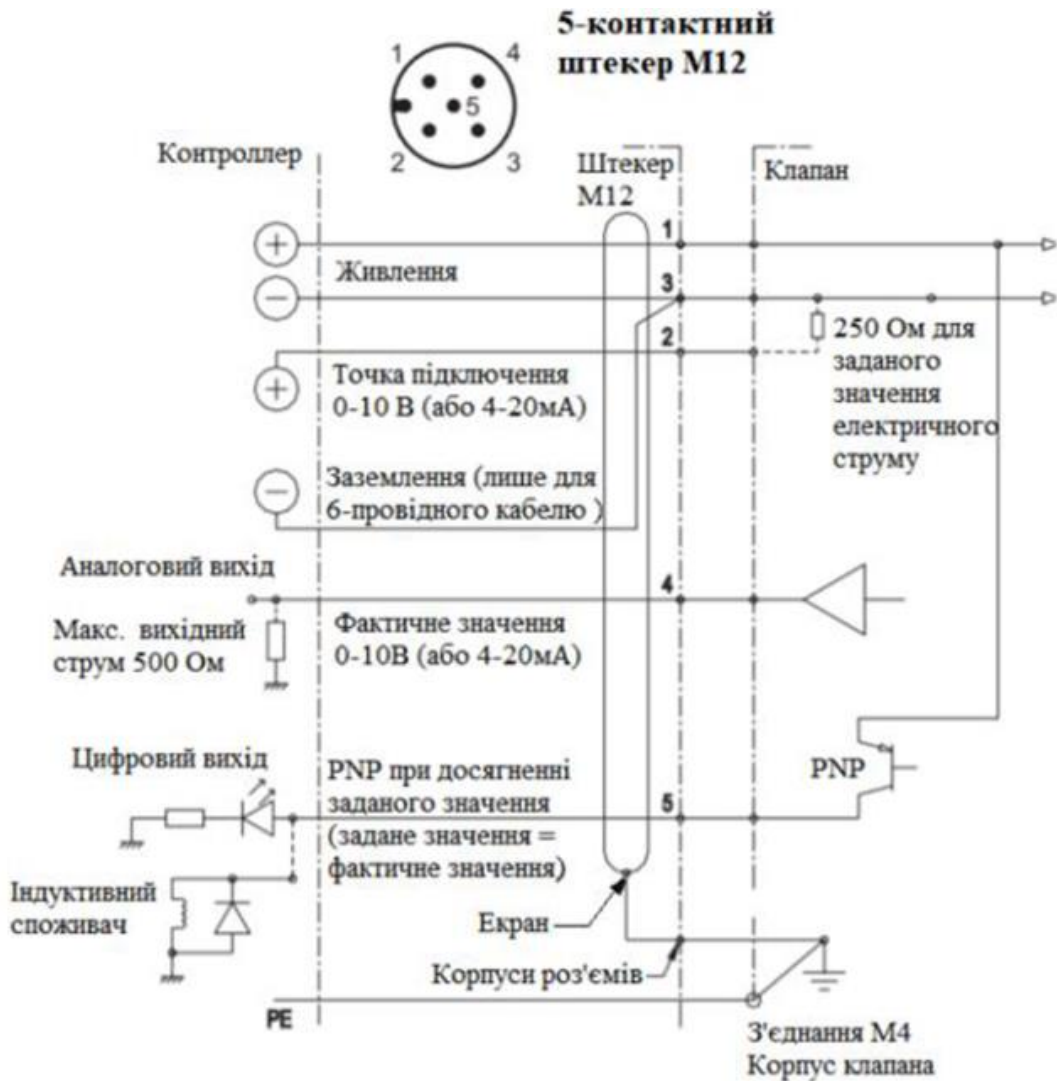


Рис. 3.2.32. Електричне підключення перетворювача Sentronic LP серії 617 ASCO

Клапан спроможний працювати лише при напрузі живлення 24 В постійного струму з відхиленням $\pm 10\%$ і максимальним рівнем пульсацій не більше 10%. Важливо відзначити, що відсутність живлення через діодний міст є обов'язковою умовою. Перевищення допустимих меж напруги або пульсацій струму може призвести до пошкодження електроніки регулятора тиску.

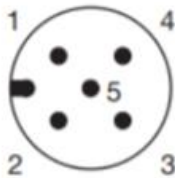
Максимальний струм для реле тиску становить 200 мА / 4,8 Вт (вихід PNP). Вихід захищений від короткого замикання ланцюги та перевантаження.

Якщо реле (яке є індуктивним навантаженням) підключено до виходу реле тиску, рекомендується використовувати вільний діод або варистор.

Для захисту від електромагнітних перешкод необхідно використовувати екранований кабель.

Корпус клапана необхідно заземлити за рахунок клеми заземлення.

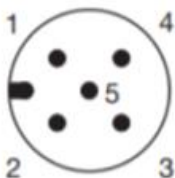
Стандартне аналогове управління



Pin	Опис	6-провідний кабель
1	живлення 24 В постійного струму	коричневий
2	аналоговий вх. заданого значення	білий
3	постачання загальне	блакитний
	аналоговий загальний*	жовтий
4	аналоговий вихід (зворотній зв.)	чорний
5	цифровий вихід (реле тиску)	сірий
Корпус	екран ЕМС	захист

*Для довгих кабелів використовується 6-провідний кабель з окремим загальним для командного сигналу більше 2 м, щоб мінімізувати падіння напруги для командного сигналу

Дискретне управління



Pin	Опис
1	живлення 24 В постійного струму
2	вхідний сигнал 1 (LSB)
3	постачання загальне
4	вхідний сигнал 2 (MSB)
5	невикористовується

Рис. 3.2.33. Розташування контактів роз'єму Sentronic LP серії 617 ASCO

3.3. Схеми електричні принципові контурів вимірювання, управління та сигналізації

На електричній схемі принципів контурів для вимірювання, управління та сигналізації технологічного комплексу цукрового заводу з підсистемою випарної установки показано, як вимірювальні прилади та виконавчі механізми з'єднані з програмованим логічним контролером Schneider Electric M340.

В розробленій схемі підключення я обрав та зобразив 1 змішаний дискретний модуль входу/виходу BMX DDM 16022, 3 аналогових вхідних модуля BMX AMI 0810 та 1 аналоговий вихідний модуль BMX AMO 0802.

На схемі відображаються певні позначення, які зображують в таблицях нижче.

Таблиця 3.3.1 Нумерація провідників

Нумерація	Примітка
001-021	відгалуження в котрих проходить пневматичний сигнал від ПЛК Schneider Electric M340 до клапана та електропневматичного перетворювача
100-145	провідники в котрих протікає сигнал від датчиків до ПЛК Schneider Electric M340
200-213	провідників в котрих проходить сигнал управління від ПЛК Schneider Electric M340 до електропневматичних перетворювачів
800-816	провідників в котрих протікає змінний струм
900-976	провідників в котрих протікає постійний струм

Таблиця 3.3.2 Позначення, котрі присутні на схемі

Позначення	Примітка
Автоматичні вимикачі в силових ланцюгах QF1-QF4	використовується для включення і відключення певних гілок або для автоматичного відключення у разі короткого замикання
Блоки живлення БЖ 24В	використовується для перетворення змінної напруги в постійну для живлення датчиків, кнопок та магнітних пускачів

3.4. Схема з'єднання та підключення проводок промислових мереж

Встановлення зв'язків між технічними засобами автоматизації, які використовуються для обміну інформаційними даними по промислових мережах, реалізується за допомогою схеми з'єднань та підключень мережевих проводів. Такі схеми можуть бути легко зрозумілі за допомогою відповідних позначень, розміщених на самій схемі.

Таблиця 3.4.1 Перелік елементів до схеми з'єднань

Найменування	К-сть	Примітка
Комунікаційні адаптери та карти		
КК ВІІІ – TSX SCP114 PCMCIA мультипротокольна карта RS-485	1	
КМ КХЗ – TWD NOZ 485 T, комунікаційний модуль RS-485 для Twido з підключенням під клемну колодку (PORT2)	1	
Коробки з'єднувальні		
КС2-1 - TSX SCA 50 з вбудованим термінатором	3	
Клемні колодки		
ХТ1 (щит RIO1) з прохідними клемами та 3 контакти	1	
ХТ2 (щит PDS1) з прохідними клемами та 3 контакти	1	
Мережні з'єднувачі		
ХС1-6 – неекранований RJ-45 типу вилка	6	
Мережні кабелі		
TSX SCPCM4030 – для підключення TSX SCP114 до MODBUS RTU, 3 м	2	
TSX PCX1031 – кабель з адаптером RS232-RS485, SUB-D 9 пін з боку RS232, MiniDIN з боку RS485, 2.5 м	2	
TSX CSA – кабель на базі подвійної екранованої виткої пари	100м	
UTP – UTP кабель 4x2 CAT5e 0,5 мм PVC	4м	

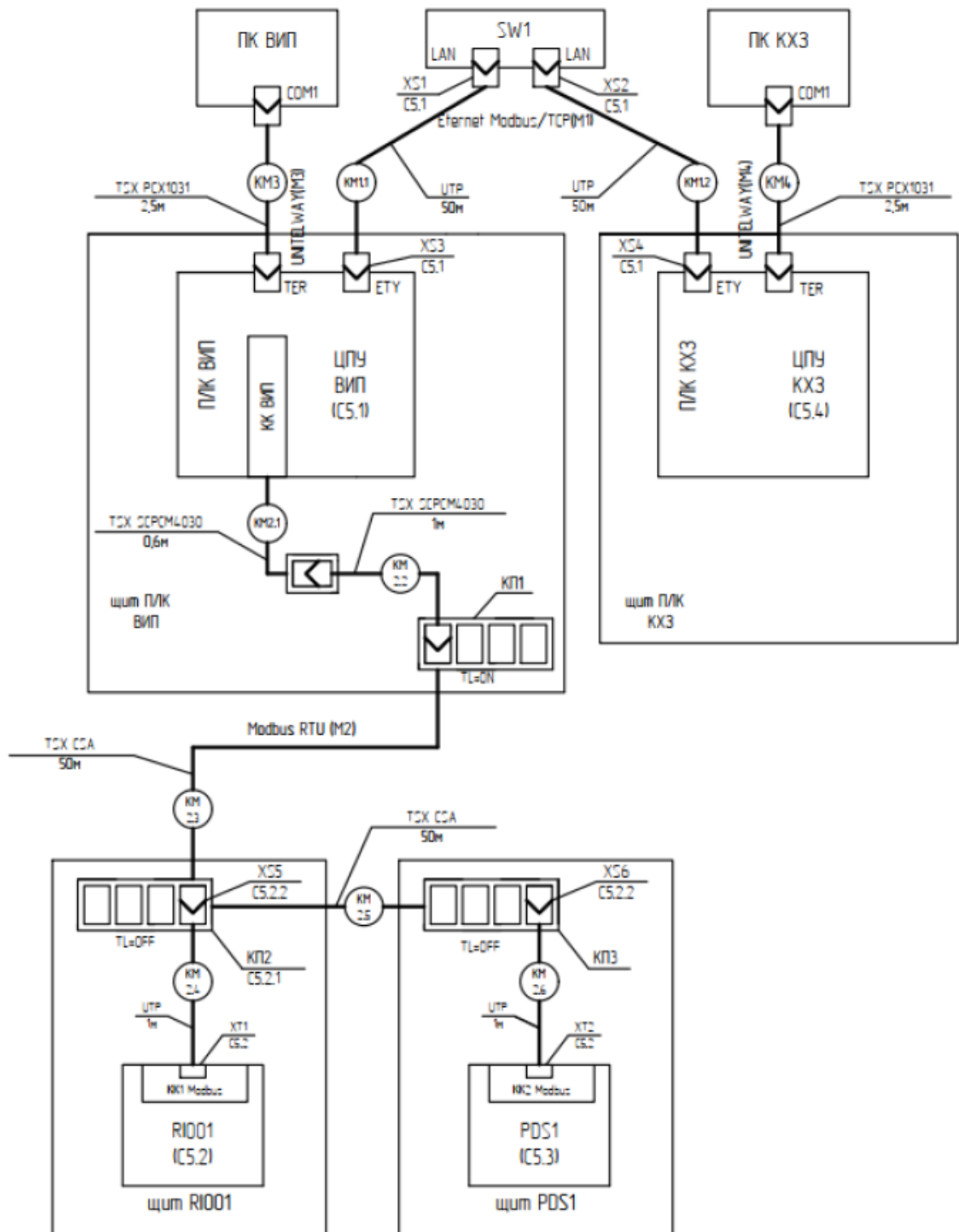
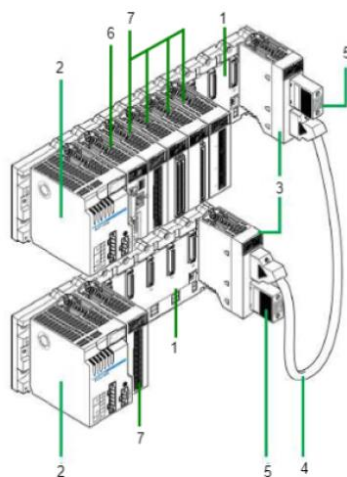


Рис. 3.4.1. Схема з'єднань проводок промислових мереж

3.5. Схема компонування та специфікація модулів ПЛК

В цьому підрозділі, присвяченому вибору промислових логічних контролерів та їх компонуванню, було обрано надійний, потужний та компактний ПЛК Schneider Electric Modicon M340.

Основними перевагами Modicon M340 є: багатфункціональний процесор, багатозадачність, порт USB для програмування та підключення НМІ, два додаткових порти (Ethernet, CANopen, Modbus), пам'ять для програмного коду, резервна пам'ять, сховище файлів, модуль швидкого модуль швидкого рахунку, відкрита бібліотека ПЛК, модуль послідовності вихідних імпульсів та інтегрована бібліотека керування процесом.



1. Шасі, на яких встановлюються модулі.
2. Модуль живлення, який обов'язково повинен бути присутнім в кожному шасі, і який встановлюється на спеціально відведеному місці у шасі
3. Модуль розширення для контролерів побудованих на базі декількох шасі.
4. Кабелі розширення BusX, що з'єднує модулі розширення на суміжних шасі.
5. Термінуючі резистори в кінцевих модулях розширення архітектури M340.
6. Процесорний модуль, який обов'язково розміщується в посадочному місці з номером 00 у шасі, яке має номер 0.
7. Модулі вводу/виводу та модулі спеціального призначення, які розміщуються в будь якому посадочному місці.

Рис. 3.5.1. Фізична структура Modicon M340

Основним структурним компонентом Modicon M340 є шасі, призначене для виконання наступних функцій: фіксація модулів вводу/виводу, блока живлення, центрального процесора; здійснення передачі та обміну інформаційними сигналами та даними між окремими модулями ПЛК.



Рис. 3.5.2. Шасі Modicon M340

Для початку роботи з програмуванням слід обрати всі необхідні компоненти.

Таблиця 3.5.1. Вибір модулів

Модулі вводу/виводу		Примітка
Найменування	Кількість	
BMX P34-2020	1	Процесор
BMX CPS 2000	1	Блок живлення
BMX NOM 0200	1	Порт BUS MODULE 2 RS485/232
BMX DDM 16022	1	Модуль змішаний дискретний вводу/виводу
BMX AMI 0810	3	Модуль аналогових входів
BMX AMO 0802	1	Модуль аналогових виходів

Апаратна конфігурація ПЛК M340 EcoStruxure Control Expert (Unity Pro) зображена нижче.

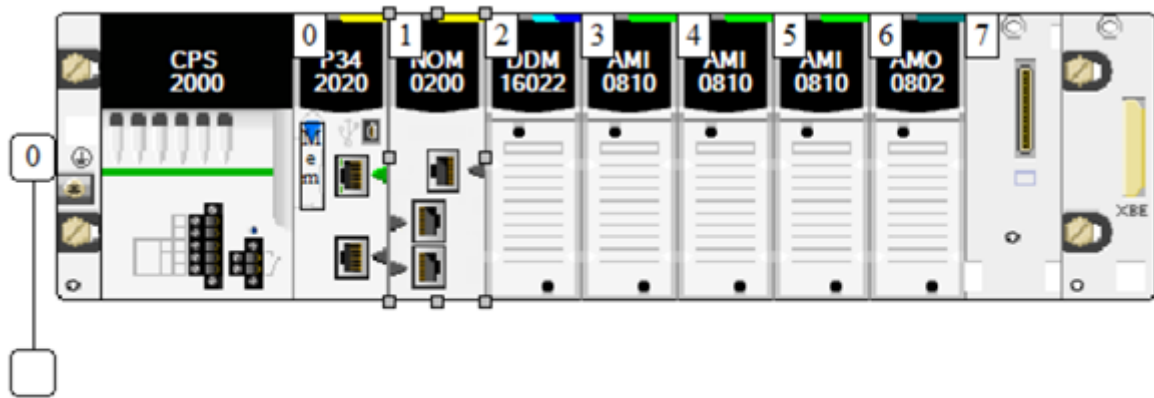


Рис. 3.5.3. Розташування вибраних модулів на ПЛК М340

Модулі, які були вказані у вищенаведеній таблиці, отримують живлення через внутрішню шину від блока живлення. У моєму випадку я обрав ВМХ CPS 2000, що ідеально відповідає вимогам щодо обсягу енергії, необхідного для вибраних мною модулів.



Рис. 3.5.4 Вигляд модуля ВМХ CPS 2000

Таблиця 3.5.2. Характеристика потужності модуля живлення

Потужність	BMX CPS 2000
Напруга живлення	100...240 VAC
Загальна корисна потужність (P_{ps})	20 Вт
Потужність на виході 3V3 ВАС монтажного шасі	8,3 Вт (2,5 А)
Потужність на виході 24V ВАС монтажного шасі	16,5 Вт (0,7 А)
Максимальна сумарна потужність на виходах 3V3 ВАС та 24V ВАС (P_{3V3_24V})	16,5 Вт
Сумарна корисна потужність на споживання зовнішніми датчиками 24V SENOSRS	10,8 Вт (0,45 А)

Кількість спожитої енергії показано знизу.

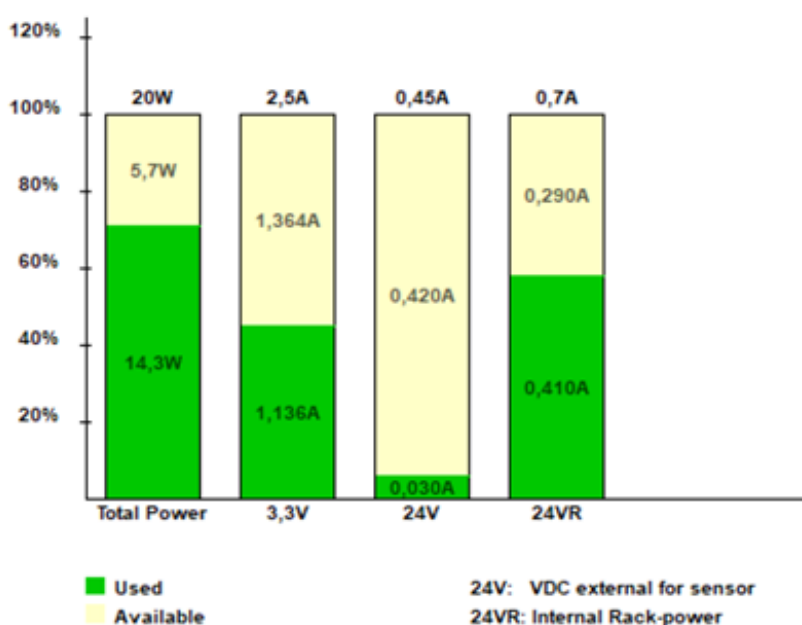


Рис. 3.5.5. Споживча потужність

Для процесорного модуля я використовував BMX P34-2020. Цей модуль відмінно виконує свої функціональні можливості, відповідає поставленим технічним вимогам, ефективно обробляє інформацію та забезпечує необхідний обсяг оперативної пам'яті для зберігання.



- 1-гвинт для закріплення модуля на шасі;
- 2-блок індикації;
- 3-рознім USB mini B для підключення терміналу програмування, або засобів SCADA/HMI;
- 4-відсік для карти пам'яті;
- 5-рознім RJ45 для підключення кабелю послідовного інтерфейсу RS-485 та RS-232C, поModbus RTU/ASCII або символного режиму (маркування чорним кольором);
- 6-рознім для підключення кабелю Ethernet TCP/IP 10BASE T/100BASE-TX (маркування зеленим кольором).

Рис. 3.5.6 Вигляд процесорного модуля BMX P34-2020

Таблиця 3.5.3. Характеристика BMX P34-2020

Характеристика		BMX P34-2020
Максимальна кількість	Шасі	4
	Дискретних входів/виходів	1024
	Аналогових входів/виходів	256
	Лічильних каналів	36
Об'єм RAM	Загальний розмір	4096 Кб
	Для програм, констант, символів	3584
	Для даних	256 Кб
Максимальна кількість об'єктів	Локальні внутрішні біти %MІ	32464
	Локальні внутрішні слова %MWI	32464
	Нелокальні внутрішні змінні	256 Кб
Вбудовані комунікації	Послідовний RS-485/RS-232C	+
	Ethernet TCP/IP	+
	CANOpen	-

Для забезпечення комунікації між сусідніми станціями випарної установки, я використав конфігурацію ПЛК з модулем BMX NOM 0200, який виступає в якості порту BUS MODULE 2 RS485/232.



Рис. 3.5.7 Вигляд модуля BMX NOM 0200

Таблиця 3.5.4 Характеристика BMX NOM 0200

Основні характеристики	
Тип продукту	Модуль послідовного каналу
Концепція	Послідовне послання
Тип вбудованих клем	RS232 RJ45 115,2 кбіт/с 8 дроти RS485 RJ45 57.6 кбіт/с 1 вита пара
Захисне виконання	ТС
Допоміжні характеристики	
Джерело живлення	Внутрішнє електроживлення через шасі
Локальна індикація	Відмова модуля (ERR): 1 світлодіод (червоний) Робота модуля (RUN): 1 світлодіод (зелений) Активність на послідовному каналі (SER COM): 1 світлодіод (зелений) Активність на послідовному каналі (SER COM 1): 1 світлодіод (зелений)
Споживчий струм	80мА у 24 У пост. струм

Змішаний дискретний модуль входу/виходу має такі характеристики:

Позначення модуля	Кількість каналів	Характеристика модуля	Підключення
BMX DDM 16022	8 входів	24 VDC, позитивна логіка	20-конт. з'ємна кол.
	8 виходів	24 VDC, захищені, позитивна логіка, 0,5 А	

Аналогові модуля вводу/виводу мають наступні ознаки:

Позначення модуля	Кількість каналів	Діапазон сигналу	Характеристики каналів	Підключення
Модуль аналогових входів				
BMX AMI 0810	8	$\pm 10\text{В}$, $0 \dots 10\text{В}$, $0 \dots 5\text{В}$, $0 \dots 20\text{мА}$, $4 \dots 20\text{мА}$	16-бітні, ізоляція між каналами, час опитування модуля -9 мс	28-контактна з'ємна кол.
Модуль аналогових виходів				
BMX AMO 0802	8	$0 \dots 20\text{мА}$, $4 \dots 20\text{мА}$	16-бітні, загальна точка	20-контактна з'ємна кол.

Розділ 4. Спеціальне завдання

4.1. Опис спеціального програмного забезпечення для мікропроцесорного контролера

У цьому розділі розроблено алгоритм функціонування автоматизованої системи управління технологічним комплексом цукрового заводу з підсистемою випарної установки. Цей алгоритм передбачає виконання наступної послідовності дій:

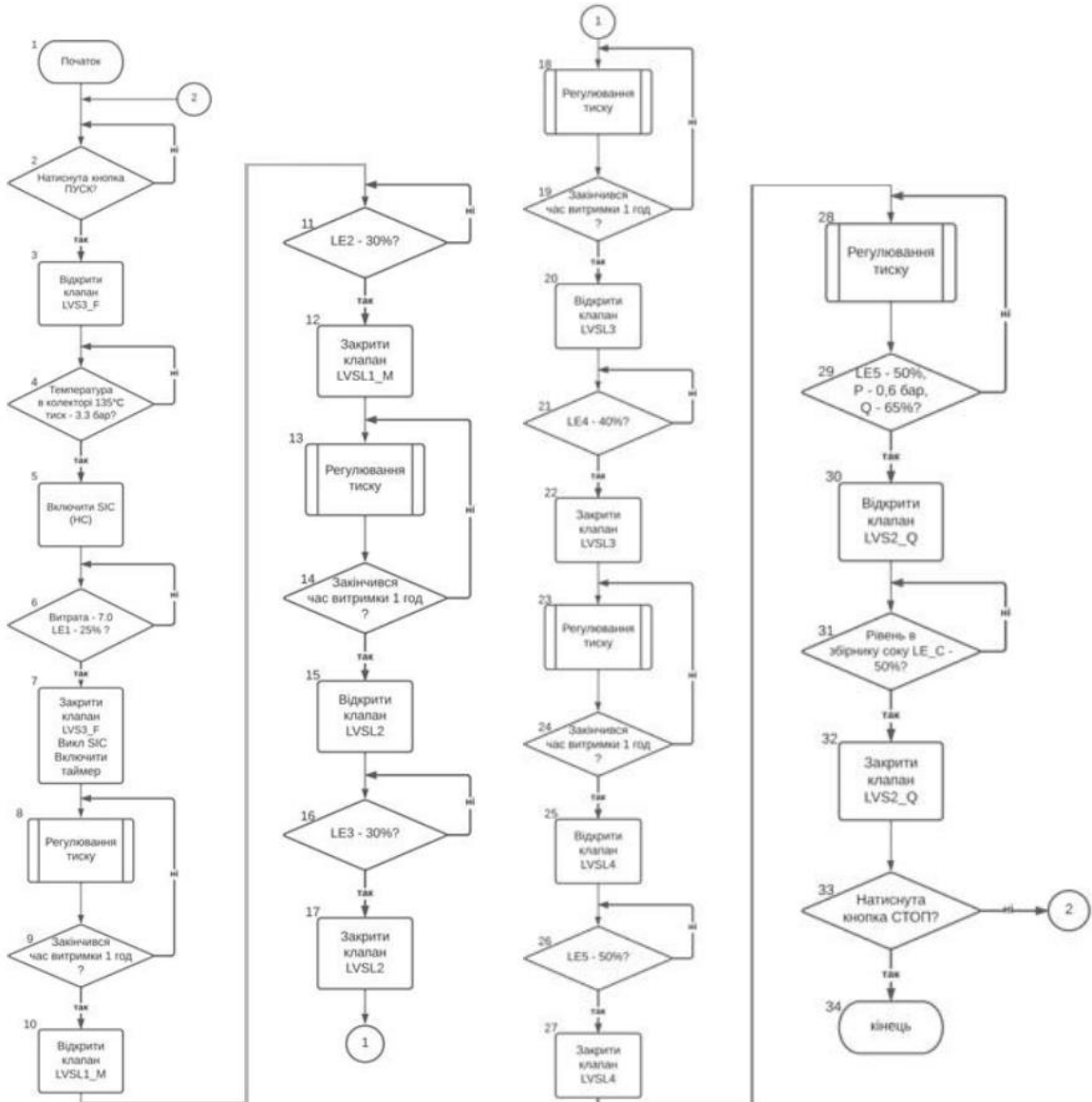


Рис. 4.1.1. Блок-схема управління процесом випарювання

Програмування ПЛК здійснюється за алгоритмом, описаним вище.

Як зазначалося вище, для управління об'єктом, тобто підсистемою випарника, мікропроцесорний контролер повинен бути налаштований відповідно до вимог електричної схеми:

Назва	Кількість сигналів
Дискретні вхідні сигнали	2
Дискретні вихідні сигнали	2
Аналогові вхідні сигнали	21
Аналогові вихідні сигнали	7

Для структури такої конфігурації на базі ПЛК Modicon M340 достатньо обрати:

- один змішаний дискретний модуль входу/виходу BMX DDM 16022;
- три аналогових вхідних модуля BMX AMI 0810;
- один аналоговий вихідний модуль BMX AMO 0802.

Для обраної кількості модулів вводу/виводу вистачить одного шасі на 8 посадочних місць (BMX ХВР 0800). Модуль живлення для цього шасі слід вибрати на 220В. Для живлення модулів в цьому шасі досить буде використати BMX CPS 2000.

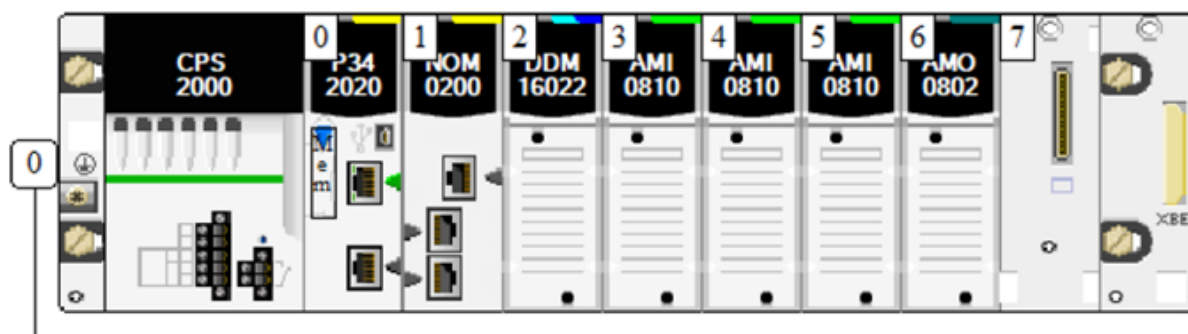


Рис. 4.1.2. Апаратна конфігурація Modicon M340

Для підключення проводки до аналогових/цифрових модулів вводу/виводу необхідно вибрати додаткову клемну колодку. Для цього було обрано змінну клемну колодку ВМХ FTВ 2010 з гвинтовими затискачами.

Отримані в результаті специфікації для обладнання автоматизації ПЛК виглядають наступним чином:

Поз.	Найменування та технічні характеристики засобу	Тип, марка, позначення документа, листа опитування	Завод – виготовлювач / виробник	Одиниці виміру	Кількість
1.	Шасі X80 з Xbus шиною на 8 посадочних місць	ВМХ ХВР 0800	Schneider Electric , Франція	шт.	1
2.	Модуль ЦПУ	ВМХ Р34 2020	Schneider Electric , Франція	шт.	1
3.	Модуль живлення 100...240 VAC, 20Вт	ВМХ СРС 2000	Schneider Electric , Франція	шт.	1
4.	Порт BUS MODULE 2 RS485/232.	ВМХ NОM 0200	Schneider Electric , Франція	шт.	1
5.	Модуль змішаний на 8 входів та 8 виходів	ВМХ DDM 16022	Schneider Electric , Франція	шт.	1
6.	Модуль на 8 аналогових входів	ВМХ АМІ 0810	Schneider Electric , Франція	шт.	3
7.	Модуль на 8 аналогових виходів	ВМХ АМО 0802	Schneider Electric , Франція	шт.	1
8.	20 контактна з'ємна колодка з гвинтовими зажимами	ВМХ FTВ 2010	Schneider Electric , Франція	шт.	5

На основі цього EcoStruxure Control Expert створює змінні вводу/виводу відповідно до завдання.

● FE	EBOOL				%IO.2.0
● StopD	EBOOL				%IO.2.3
● PT_K	INT				%IW0.3.0
● TE_K	INT				%IW0.3.1
● TE1	INT				%IW0.3.2
● TE2	INT				%IW0.3.3
● TE3	INT				%IW0.3.4
● TE4	INT				%IW0.3.5
● TE5	INT				%IW0.3.6
● PT1	INT				%IW0.3.7
● PT2	INT				%IW0.4.0
● PT3	INT				%IW0.4.1
● PT4	INT				%IW0.4.2
● PT5	INT				%IW0.4.3
● TE3_0	INT				%IW0.3.4
● LE1	INT				%IW0.4.4
● LE2	INT				%IW0.4.5
● LE3	INT				%IW0.4.6
● LE4	INT				%IW0.4.7
● LE5	INT				%IW0.5.0
● QT	INT				%IW0.5.1
● LE_C	INT				%IW0.5.2
● PT_S	INT				%IW0.5.3
● TE_S	INT				%IW0.5.4

Рис. 4.1.3. Перелік дискретних/аналогових змінних вводу

● LVS2_Q	EBOOL				%Q0.2.17
● LVS3_F	EBOOL				%Q0.2.18
● LVS3_F_0	EBOOL				%Q0.2.18
● HC	INT				%QW0.6.0
● LVS_P	INT				%QW0.6.1
● LVSL1	INT				%QW0.6.2
● LVSL2	INT				%QW0.6.3
● LVSL3	INT				%QW0.6.4
● LVSL4	INT				%QW0.6.5
● LVS5_P	INT				%QW0.6.6

Рис. 4.1.4. Перелік дискретних/аналогових змінних виводу

На представлених нижче зображеннях можна спостерігати вікно конфігурації для модуля ЦПУ, а також для дискретних та аналогових модулів вводу/виводу.

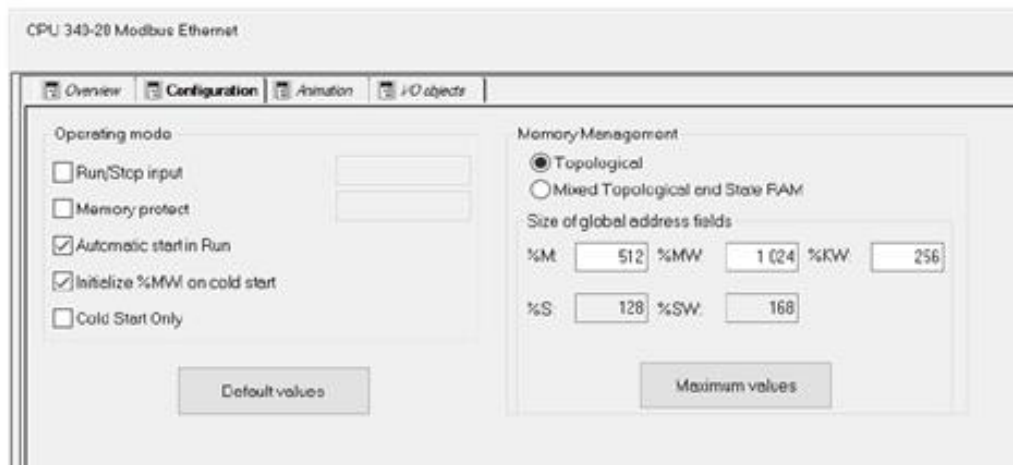


Рис. 4.1.5. Конфігурування процесорного модуля

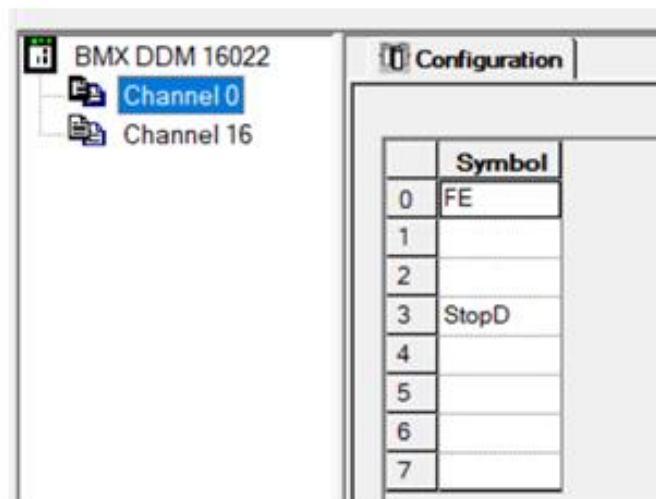


Рис. 4.1.6. Конфігурування модуля BMX DDM 16022

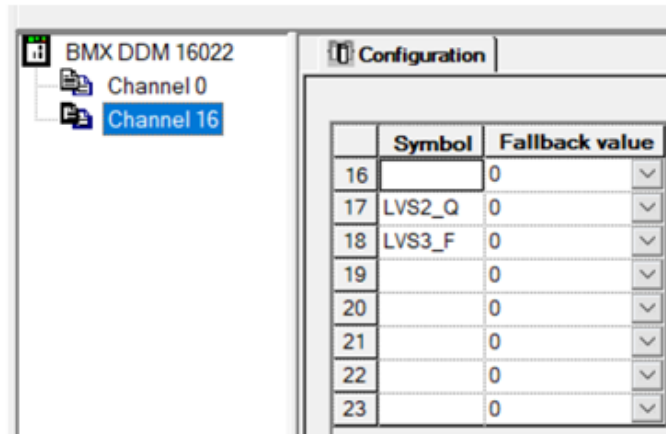


Рис. 4.1.7. Конфігурування модуля BMX DDM 16022

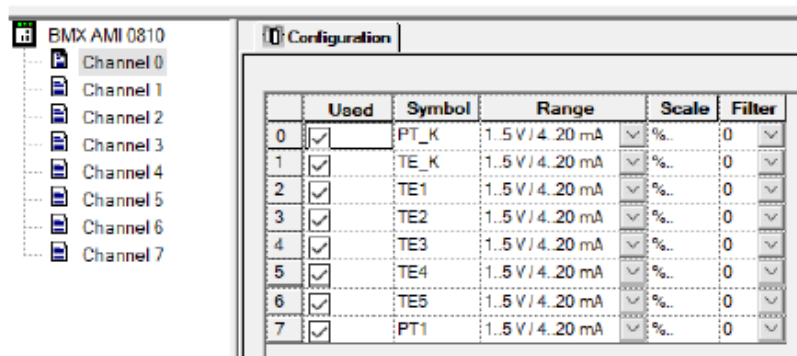


Рис. 4.1.8. Конфігурування модуля BMX AMI 0810

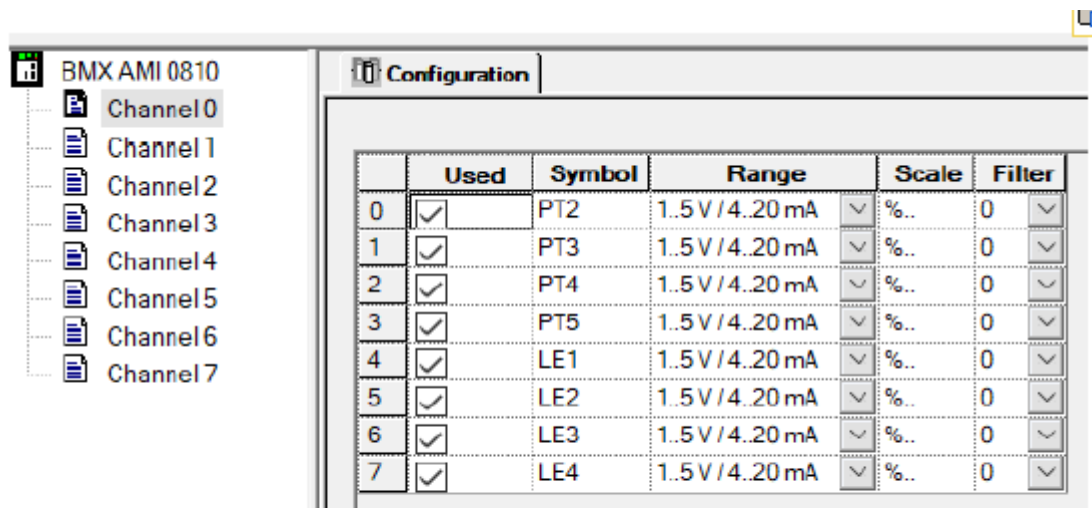


Рис. 4.1.9. Конфігурування модуля BMX AMI 0810

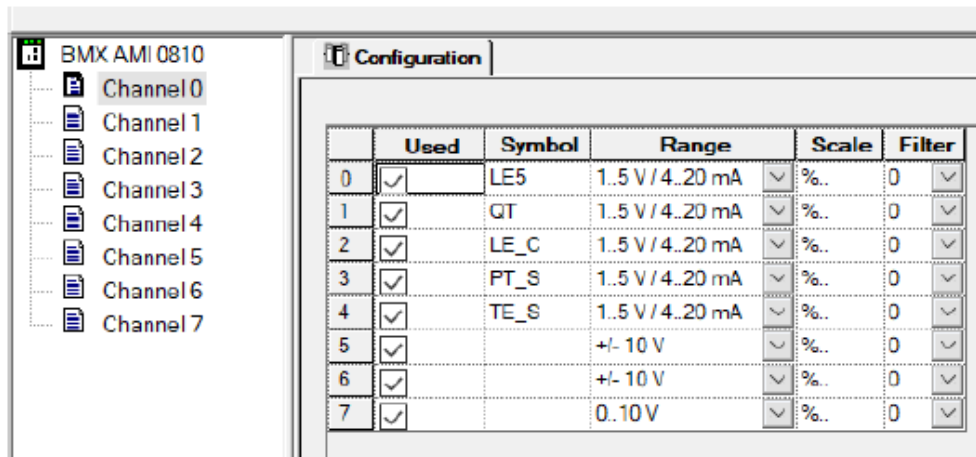


Рис. 4.1.10. Конфігурування модуля BMX AMI 0810

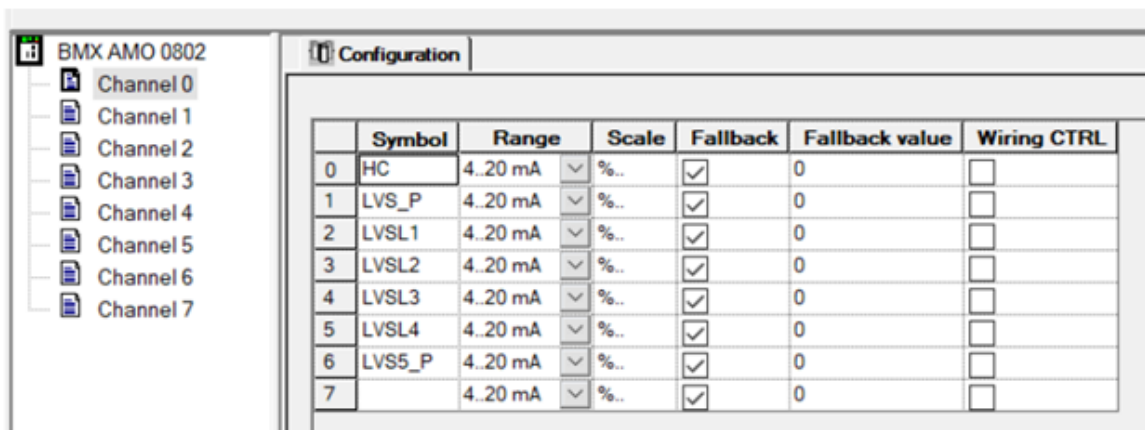


Рис. 4.1.11. Конфігурування модуля BMX AMO 0802

Для того, щоб адаптувати вхідні та вихідні сигнали контролера до вимог процесу, необхідно створити змінні процесу.

● FE_M	REAL	● QT_M	REAL	● manual_HC	REAL
● HC_M	REAL	● TE1_M	REAL	● PT1_M	REAL
● LE1_M	REAL	● TE1_SP	REAL	● PT1_SP	REAL
● LE2_M	REAL	● TE2_M	REAL	● PT2_M	REAL
● LE3_M	REAL	● TE2_SP	REAL	● PT2_SP	REAL
● LE4_M	REAL	● TE3_M	REAL	● PT3_M	REAL
● LE5_M	REAL	● TE3_SP	REAL	● PT3_SP	REAL
● LE_C_M	REAL	● TE4_M	REAL	● PT4_M	REAL
● LVSS_P_M	REAL	● TE4_SP	REAL	● PT4_SP	REAL
● LVS_P_M	REAL	● TE5_M	REAL	● PT5_M	REAL
● LVSL1_M	REAL	● TE5_SP	REAL	● PT5_SP	REAL
● LVSL2_M	REAL	● TE_K_M	REAL	● PT_K_M	REAL
● LVSL3_M	REAL	● TE_S_M	REAL	● PT_S_M	REAL
● LVSL4_M	REAL				

Рис. 4.1.12. Технічні змінні

Масштабування та перетворення входів/виходів необхідно масштабувати технічні змінні, що обробляються в розділах "INPUTS" та "OUTPUTS".

На наведеному нижче зображенні представлено розділ "INPUTS", в якому відображено процес масштабування вхідних аналогових змінних з використанням функціонального блоку "SCALING".

```

SCALING_LE_C (IN := INT_TO_REAL(LE_C),
              PARA := LE_C_PARA,
              OUT => LE_C_M);

SCALING_LE5 (IN := INT_TO_REAL(LE5),
              PARA := LE5_PARA,
              OUT => LE5_M);

SCALING_LE4 (IN := INT_TO_REAL(LE4),
              PARA := LE4_PARA,
              OUT => LE4_M);

SCALING_LE3 (IN := INT_TO_REAL(LE3),
              PARA := LE3_PARA,
              OUT => LE3_M);

SCALING_LE2 (IN := INT_TO_REAL(LE2),
              PARA := LE2_PARA,
              OUT => LE2_M);

SCALING_LE1 (IN := INT_TO_REAL(LE1),
              PARA := LE1_PARA,
              OUT => LE1_M);

SCALING_PT5 (IN := INT_TO_REAL(PT5),
              PARA := PT5_PARA,
              OUT => PT5_M);

SCALING_PT4 (IN := INT_TO_REAL(PT4),
              PARA := PT4_PARA,
              OUT => PT4_M);

SCALING_PT3 (IN := INT_TO_REAL(PT3),
              PARA := PT3_PARA,
              OUT => PT3_M);

SCALING_PT2 (IN := INT_TO_REAL(PT2),
              PARA := PT2_PARA,
              OUT => PT2_M);

SCALING_PT1 (IN := INT_TO_REAL(PT1),
              PARA := PT1_PARA,
              OUT => PT1_M);

SCALING_TE5 (IN := INT_TO_REAL(TE5),
              PARA := TE5_PARA,
              OUT => TE5_M);

SCALING_TE4 (IN := INT_TO_REAL(TE4),
              PARA := TE4_PARA,
              OUT => TE4_M);

SCALING_TE3 (IN := INT_TO_REAL(TE3),
              PARA := TE3_PARA,
              OUT => TE3_M);

SCALING_TE2 (IN := INT_TO_REAL(TE2),
              PARA := TE2_PARA,
              OUT => TE2_M);

SCALING_TE1 (IN := INT_TO_REAL(TE1),
              PARA := TE1_PARA,
              OUT => TE1_M);

```

Рис. 4.1.13. Масштабування вхідних аналогових сигналів

Масштабування за рахунок ФБ SCALING зобов'язує налаштування через змінну типу PARA_SCALE.

[-]	LE1_PARA	Para_SCALING		
	in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...
	in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...
	cut_min	REAL	0.0	Lower limit of the outp...
	cut_max	REAL	100.0	Upper limit of the out...
	clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...
[-]	LE2_PARA	Para_SCALING		
	in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...
	in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...
	cut_min	REAL	0.0	Lower limit of the outp...
	cut_max	REAL	100.0	Upper limit of the out...
	clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...
[-]	LE3_PARA	Para_SCALING		
	in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...
	in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...
	cut_min	REAL	0.0	Lower limit of the outp...
	cut_max	REAL	100.0	Upper limit of the out...
	clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...
[-]	LE4_PARA	Para_SCALING		
	in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...
	in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...
	cut_min	REAL	0.0	Lower limit of the outp...
	cut_max	REAL	100.0	Upper limit of the out...
	clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...

Рис. 4.1.14. Налаштування PARA_SCALE

[-]	LE5_PARA	Para_SCALING		
	in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...
	in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...
	out_min	REAL	0.0	Lower limit of the outp...
	out_max	REAL	100.0	Upper limit of the out...
	clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...
[-]	LE_C_PARA	Para_SCALING		
	in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...
	in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...
	out_min	REAL	0.0	Lower limit of the outp...
	out_max	REAL	100.0	Upper limit of the out...
	clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...
[-]	PT1_PARA	Para_SCALING		
	in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...
	in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...
	out_min	REAL	0.0	Lower limit of the outp...
	out_max	REAL	6.0	Upper limit of the out...
	clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...
[-]	PT2_PARA	Para_SCALING		
	in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...
	in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...
	out_min	REAL	0.0	Lower limit of the outp...
	out_max	REAL	6.0	Upper limit of the out...
	clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...

Рис. 4.1.15. Налаштування PARA_SCALE

[-]	PT3_PARA	Para_SCALING		
	in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...
	in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...
	out_min	REAL	0.0	Lower limit of the outp...
	out_max	REAL	6.0	Upper limit of the out...
	clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...
[-]	PT4_PARA	Para_SCALING		
	in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...
	in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...
	out_min	REAL	0.0	Lower limit of the outp...
	out_max	REAL	6.0	Upper limit of the out...
	clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...
[-]	PT5_PARA	Para_SCALING		
	in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...
	in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...
	out_min	REAL	0.0	Lower limit of the outp...
	out_max	REAL	6.0	Upper limit of the out...
	clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...
[-]	PT_K_PARA	Para_SCALING		
	in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...
	in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...
	out_min	REAL	0.0	Lower limit of the outp...
	out_max	REAL	6.0	Upper limit of the out...
	clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...

Рис. 4.17. Налаштування PARA_SCALE відповідно завданню

[-]	PT_S_PARA	Para_SCALING		
	in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...
	in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...
	out_min	REAL	0.0	Lower limit of the outp...
	out_max	REAL	6.0	Upper limit of the out...
	clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...
[-]	QT_PARA	Para_SCALING		
	in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...
	in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...
	out_min	REAL	0.0	Lower limit of the outp...
	out_max	REAL	100.0	Upper limit of the out...
	clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...
[-]	TE1_PARA	Para_SCALING		
	in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...
	in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...
	out_min	REAL	0.0	Lower limit of the outp...
	out_max	REAL	200.0	Upper limit of the out...
	clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...
[-]	TE2_PARA	Para_SCALING		
	in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...
	in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...
	out_min	REAL	0.0	Lower limit of the outp...
	out_max	REAL	200.0	Upper limit of the out...
	clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...

Рис. 4.18. Налаштування PARA_SCALE відповідно завданню

























[-]  TE3_PARA	Para_SCALING			
 in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...	
 in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...	
 out_min	REAL	0.0	Lower limit of the cutp...	
 out_max	REAL	200.0	Upper limit of the out...	
 clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...	
[-]  TE4_PARA	Para_SCALING			
 in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...	
 in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...	
 out_min	REAL	0.0	Lower limit of the cutp...	
 out_max	REAL	200.0	Upper limit of the out...	
 clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...	
[-]  TE5_PARA	Para_SCALING			
 in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...	
 in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...	
 out_min	REAL	0.0	Lower limit of the cutp...	
 out_max	REAL	200.0	Upper limit of the out...	
 clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...	
[-]  TE_K_PARA	Para_SCALING			
 in_min	REAL	0.0	Lower limit of the inpu...	
 in_max	REAL	10000.0	Upper limit of the inp...	
 out_min	REAL	0.0	Lower limit of the cutp...	
 out_max	REAL	200.0	Upper limit of the out...	
 clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...	

Рис. 4.1.19. Налаштування PARA_SCALE відповідно завданню

Для дискретних/аналогових виходів я використав просту формулу для масштабування.

```

(*клапан 0-100% -> 0-10000 *)
LVS_P:=real_to_int(LVS_P_M*100.0);
LVSL1:=real_to_int(LVSL1_M*100.0);
LVSL2:=real_to_int(LVSL2_M*100.0);
LVSL3:=real_to_int(LVSL3_M*100.0);
LVSL4:=real_to_int(LVSL4_M*100.0);
LVS5_P:=real_to_int(LVS5_P_M*100.0);

(*БРУ 0-100%(4-20mA) -> 0-10000*)
HC:=real_to_int(HC_M*100.0);

(*дискретні виходи*)
LVS2_Q := LVS2_Q_M;
LVS3_F := LVS3_F_M;

```

Рис. 4.1.20. Масштабування вихідних дискретних/аналогових сигналів

Реалізація контуру регулювання тиску в першій та останній випарній зоні на мові ST відображена нижче.

Програма використовує функціональний блок SAMPLETM, який викликається періодично, раз на секунду. Режим відстеження необхідний для того, щоб вихідні значення можна було змінювати безпосередньо від програми до виконавчого механізму.

```

TC1_PT1 (t#1s, 0); (*генератор імпульсів 1с*)
TC1 (EN := TC1_PT1.Q, (*викликати раз в секунду*)
PV := PT1_M, (*дійсне масштабоване значення температури*)
SP := PT1_SP, (*задане значення*)
MAN_AUTO := TC1_AUTO, (*перемикач авто/руч*)
PARA := TC1_PARA, (*параметри регулятора*)
TR_I := LVS_P_M, (*значення режиму слідкування = значення клапану*)
TR_S := TC1_TRON, (*включення режиму слідкування*)
OUT := LVS_P_M); (*значення на ВМ*)

TC5_PT5 (t#1s, 0); (*генератор імпульсів 1с*)
TC5 (EN := TC5_PT5.Q, (*викликати раз в секунду*)
PV := PT5_M, (*дійсне масштабоване значення температури*)
SP := PT5_SP, (*задане значення*)
MAN_AUTO := TC5_AUTO, (*перемикач авто/руч*)
PARA := TC5_PARA, (*параметри регулятора*)
TR_I := LVS5_P_M, (*значення режиму слідкування = значення клапану*)
TR_S := TC5_TRON, (*включення режиму слідкування*)
OUT := LVS5_P_M); (*значення на ВМ*)

```

Рис. 4.1.21. Реалізація контуру регулювання тиску в першій та останній випарних колонах

TC1_PARA	Para_PL_B			%MW400
id	UINT		Reserved for autotun...	%MW400
pv_inf	REAL	0.0	Lower limit of the pro...	%MW401
pv_sup	REAL	6.0	Upper limit of the pro...	%MW403
out_inf	REAL	0.0	Lower limit of the outp...	%MW405
out_sup	REAL	100.0	Upper limit of the out...	%MW407
rev_dir	BOOL	FALSE	0: direct action of the ...	%MW409
en_rcpy	BOOL	FALSE	1: the RCPY input is u...	%MW409
kp	REAL	3.0	Proportional contribut...	%MW410
ti	TIME	#3s	Integral time	%MW412
dband	REAL	0.1	Dead zone on deviat...	%MW414
outbias	REAL		Manual adjustment of...	%MW416
TC5_PARA	Para_PL_B			%MW500
id	UINT		Reserved for autotun...	%MW500
pv_inf	REAL	0.0	Lower limit of the pro...	%MW501
pv_sup	REAL	6.0	Upper limit of the pro...	%MW503
out_inf	REAL	0.0	Lower limit of the outp...	%MW505
out_sup	REAL	100.0	Upper limit of the out...	%MW507
rev_dir	BOOL	TRUE	0: direct action of the ...	%MW509
en_rcpy	BOOL	FALSE	1: the RCPY input is u...	%MW509
kp	REAL	6.0	Proportional contribut...	%MW510
ti	TIME	#9s	Integral time	%MW512
dband	REAL	0.01	0.1	%MW514
outbias	REAL		Manual adjustment of...	%MW516

Рис. 4.22. Змінні для контуру регулювання тиску в в першій та останній випарних колонах

Не подавшись на те, що цикли управління та функції обробки повинні виконуватися безперервно, булеві завдання обмежені початком і кінцем виконання. У мові ST і в інструкції вибору це може виявлятися шляхом вказання конкретного умовного виразу чи вказівки про початок і завершення виконання певної операції "CASE".

Мова програмування ST є текстовою мовою, яка може виглядати менш виразно порівняно із графічними мовами програмування, проте вона є більш універсальною і ідеально підходить для реалізації складної логіки, обчислень і операцій, особливо з використанням циклів і масивів. Це робить ST популярним в промислових автоматизованих системах та програмуванні контролерів логіки програмованої (PLC).

```

Timer(TM_Start, TM_Time);

CASE StepProg of
0:
    LVS2_Q_M:=false;
    LVS3_F_M:=false;
    LVSL1_M:=0.0;
    LVSL2_M:=0.0;
    LVSL3_M:=0.0;
    LVSL4_M:=0.0;
    LVS_P_M:=0.0;
    LVS5_F_M:=0.0;
    LE1_M:=0.0;
    LE2_M:=0.0;
    LE3_M:=0.0;
    LE4_M:=0.0;
    LE5_M:=0.0;
    LE_C_M:=0.0;
    HC_M:=0.0;
    StepProg:=1;
1:
if Start_M then
    LVS3_F_M:= true;
    TE_K_M:=135.0;
    PT_K_M:=3.3;
    StepProg:=2;
end_if;
2:
AUTO_HC:=true;
    StepProg:=3;

```

Рис. 4.1.23. Реалізація програми користувача

```

3:
if HC_M>= 1.0 then
    PT_S_M:= 2.0;
    TE_S_M:= 122.0;
    StepProg:=4;
end_if;

4:
if FE_M>=7.0 and LE1_M>=25.0 then
    LVS3_F_M:= false;
    AUTO_HC:=false;
    HC_M:=0.0;
    StepProg:=5;
end_if;

5:
if HC_M<=1.0 then
    PT_S_M:= 0.2;
    TE_S_M:= 30.0;
    StepProg:=6;
end_if;

6:
    TM_Time:= T#350s;
    TM_Start:=true;
    TCl_AUTO:=true;
    TCl_TRON:=false;
    FTl_SP:=3.3;
    StepProg:=7;

7:
if Timer.ET=T#60s then
    LVSL1_M:=50.0;
    StepProg:=8;
end_if;

8:
if LE2_M>=30.0 and LE1_M<=1.0 then
    LVSL1_M:=0.0;
    StepProg:=9;
end_if;

9:
if LE1_M<=1.0 then
    LVS3_F_M:= true;
    TE_K_M:=135.0;
    PT_K_M:=3.3;
    AUTO_HC:=true;
    StepProg:=10;
end_if;

10:
if HC_M>= 1.0 then
    PT_S_M:= 2.0;
    TE_S_M:= 122.0;
    StepProg:=11;
end_if;

11:
if LE1_M>=25.0 then
    LVS3_F_M:= false;
    AUTO_HC:=false;
    HC_M:=0.0;
    StepProg:=12;

12:
if HC_M<=1.0 then
    PT_S_M:= 0.2;
    TE_S_M:= 20.0;
    StepProg:=13;
end_if;

13:
if Timer.ET=T#120s then
    LVSL2_M:=50.0;
    StepProg:=14;
end_if;

14:
if LE3_M>=30.0 and LE2_M<=1.0 then
    LVSL2_M:=0.0;
    LVSL1_M:=60.0;
    StepProg:=15;
end_if;

15:
if LE2_M>=30.0 and LE1_M<=1.0 then
    LVSL1_M:=0.0;
    LVS3_F_M:= true;
    TE_K_M:=135.0;
    PT_K_M:=3.3;
    AUTO_HC:=true;
    StepProg:=16;
end_if;

16:
if HC_M>= 1.0 then
    PT_S_M:= 2.0;
    TE_S_M:= 122.0;
    StepProg:=17;
end_if;

17:
if LE1_M>=25.0 then
    LVS3_F_M:= false;
    AUTO_HC:=false;
    HC_M:=0.0;
    StepProg:=18;
end_if;

18:
if HC_M<=1.0 then
    PT_S_M:= 0.2;
    TE_S_M:= 30.0;
    StepProg:=19;
end_if;

```

Рис. 4.1.24. Реалізація програми користувача

```

19:
if Timer.ET=T#180s then
    LVSL3_M:=50.0;
    StepProg:=20;
end_if;

20:
if LE4_M>=40.0 and LE3_M<=1.0 then
    LVSL3_M:=0.0;
    LVSL2_M:=60.0;
    StepProg:=21;
end_if;

21:
if LE3_M>=30.0 and LE2_M<=1.0 then
    LVSL2_M:=0.0;
    LVSL1_M:=65.0;
    StepProg:=22;
end_if;

22:
if LE2_M>=30.0 and LE1_M<=1.0 then
    LVSL1_M:=0.0;
    LVS3_F_M:= true;
    TE_K_M:=135.0;
    PT_K_M:=3.3;
    AUTO_HC:=true;
    StepProg:=23;
end_if;

23:
if HC_M>= 1.0 then
    PT_S_M:= 2.0;
    TE_S_M:= 122.0;
    StepProg:=24;
end_if;

24:
if LE1_M>=25.0 then
    LVS3_F_M:= false;
    AUTO_HC:=false;
    HC_M:=0.0;
    StepProg:=25;
end_if;

25:
if HC_M<=1.0 then
    PT_S_M:= 0.2;
    TE_S_M:= 30.0;
    StepProg:=26;
end_if;

26:
if Timer.ET=T#240s then
    LVSL4_M:=50.0;
    StepProg:=27;
end_if;

27:
if LE5_M>=50.0 and LE4_M<=1.0 then
    LVSL4_M:=0.0;
    LVSL3_M:=60.0;
    StepProg:=28;
end_if;

28:
if LE4_M>=40.0 and LE3_M<=1.0 then
    LVSL3_M:=0.0;
    LVSL2_M:=65.0;
    StepProg:=29;
end_if;

29:
if LE3_M>=30.0 and LE2_M<=1.0 then
    LVSL2_M:=0.0;
    LVSL1_M:=65.0;
    StepProg:=30;
end_if;

30:
if LE2_M>=30.0 and LE1_M<=1.0 then
    LVSL1_M:=0.0;
    LVS3_F_M:= true;
    TE_K_M:=135.0;
    PT_K_M:=3.3;
    AUTO_HC:=true;
    StepProg:=31;
end_if;

31:
if HC_M>= 1.0 then
    PT_S_M:= 2.0;
    TE_S_M:= 122.0;
    StepProg:=32;
end_if;

32:
if LE1_M>=25.0 then
    LVS3_F_M:= false;
    AUTO_HC:=false;
    HC_M:=0.0;
    StepProg:=33;
end_if;

```

Рис. 4.1.25. Реалізація програми користувача

```

33:
if HC_M<=1.0 then
    PT_S_M:= 0.2;
    TE_S_M:= 30.0;
    StepProg:=34;

end_if;

34:
if Timer.Q then
    TM_Start:=false;
    TC5_AUTO:=true;
    TC5_TRON:=false;
    PT5_SP:=0.65;
    StepProg:=35;

end_if;

35:
if QT_M>=62.0 then
    LVS2_Q_M:=true;
    StepProg:=36;

end_if;

36:
if LE5_M<=1.0 then
    LVS2_Q_M:=false;
    LVSL4_M:=50.0;
    StepProg:=37;

end_if;

37:
if LE5_M>=50.0 and LE4_M<=1.0 then
    LVSL4_M:=0.0;
    LVSL3_M:=60.0;
    StepProg:=38;

end_if;

38:
if LE4_M>=40.0 and LE3_M<=1.0 then
    LVSL3_M:=0.0;
    LVSL2_M:=65.0;
    StepProg:=39;

end_if;

39:
if LE3_M>=30.0 and LE2_M<=1.0 then
    LVSL2_M:=0.0;
    LVSL1_M:=65.0;
    StepProg:=40;

end_if;

40:
if LE2_M>=30.0 and LE1_M<=1.0 then
    LVSL1_M:=0.0;
    LVS3_F_M:= true;
    TE_K_M:=135.0;
    PT_K_M:=3.3;
    AUTO_HC:=true;
    StepProg:=41;

end_if;

41:
if HC_M>= 1.0 then
    PT_S_M:= 2.0;
    TE_S_M:= 122.0;
    StepProg:=42;

end_if;

42:
if LE1_M>=25.0 then
    LVS3_F_M:= false;
    AUTO_HC:=false;
    HC_M:=0.0;
    StepProg:=43;

end_if;

43:
if HC_M<=1.0 then
    PT_S_M:= 0.2;
    TE_S_M:= 30.0;

    StepProg:=44;

end_if;

44:
if LE_C_M>=50.0 then
    LE_C_M:= 0.0;
    TC1_AUTO:= FALSE;
    TC1_TRON:= TRUE;
    TC5_AUTO:= FALSE;
    TC5_TRON:= TRUE;

    StepProg:=45;

end_if;

45:
if not Stop_M then
    StepProg:=0;

end_if;

end_case;

```

Рис. 4.1.26. Реалізація програми користувача

Для налагодження контурного регулятора потрібен сигнал зворотного зв'язку від об'єкта керування.

Там, де відсутні об'єкти керування, можна проводити моделювання значень змінних процесу. Для найпростішого моделювання можна використовувати аперіодичні ланки першого порядку.

Відповідно до цього для реалізації аперіодичної ланки я використав вже готовий функціональний блок LAG_FILTER.

```

%M100:=%S5;
%M101:=RE(%M100);

(*імітація рівня*)
if %M101 then

if HC_M>=1.0 then LE1_M:=LE1_M + 0.35;
end_if;
if LVSL1_M>=1.0 then LE1_M:= LE1_M - 0.25;
end_if;

if LVSL1_M>=1.0 then LE2_M:= LE2_M + 0.35;
end_if;
if LVSL2_M>=1.0 then LE2_M:= LE2_M - 0.30;
end_if;

if LVSL2_M>=1.0 then LE3_M:= LE3_M + 0.31;
end_if;
if LVSL3_M>=1.0 then LE3_M:= LE3_M - 0.3;
end_if;

if LVSL3_M>=1.0 then LE4_M:= LE4_M + 0.35;
end_if;
if LVSL4_M>=1.0 then LE4_M:= LE4_M - 0.3;
end_if;

if LVSL4_M>=1.0 then LE5_M:= LE5_M + 0.35;
end_if;
if LVS2_Q_M then LE5_M:= LE5_M - 0.3;
end_if;

if LVS2_Q then LE_C_M:= LE_C_M + 0.31205;
end_if;
end_if;

LE1:=WRITE_INPUT_INT(REAL_TO_INT(LE1_M*100.0));
LE2:=WRITE_INPUT_INT(REAL_TO_INT(LE2_M*100.0));
LE3:=WRITE_INPUT_INT(REAL_TO_INT(LE3_M*100.0));
LE4:=WRITE_INPUT_INT(REAL_TO_INT(LE4_M*100.0));
LE5:=WRITE_INPUT_INT(REAL_TO_INT(LE5_M*100.0));
LE_C:=WRITE_INPUT_INT(REAL_TO_INT(LE_C_M*100.0));
PT5:=WRITE_INPUT_INT(REAL_TO_INT(PT5_M*100.0));

if HC_M>=10.0 and %M101 then
    FE_M:= FE_M + 0.087707;
end_if;

if LE5_M>=1.0 and %M101 then
    QT_M:= QT_M + 0.0244;
end_if;

if QT_M>=70.0 and %M101 then
    QT_M:= 30.0;
end_if;

```

Рис. 4.1.27. Імітація змінних

```

(*імітація температури і тиску*)

LAG_TE1 (IN := INT_TO_REAL(LVS_P),
         GAIN := 1.6,
         LAG := T#30S);
TE1:= WRITE_INPUT_INT (
      5240 +
      real_to_int(LAG_TE1.out));

LAG_TE2 (IN := INT_TO_REAL(LVS_P),
         GAIN := 1.6,
         LAG := T#30S);
TE2:= WRITE_INPUT_INT (
      4907 +
      real_to_int(LAG_TE2.out));

LAG_TE3 (IN := INT_TO_REAL(LVS_P),
         GAIN := 1.6,
         LAG := T#30S);
TE3:= WRITE_INPUT_INT (
      4389 +
      real_to_int(LAG_TE3.out));

LAG_TE4 (IN := INT_TO_REAL(LVS_P),
         GAIN := 1.6,
         LAG := T#30S);
TE4:= WRITE_INPUT_INT (
      3990 +
      real_to_int(LAG_TE4.out));

LAG_TE5 (IN := INT_TO_REAL(LVS_P),
         GAIN := 1.4,
         LAG := T#30S);

TE5:= WRITE_INPUT_INT (
      3391 +
      real_to_int(LAG_TE5.out));

LAG_PT1 (IN := INT_TO_REAL(LVS_P),
         GAIN := 2.0,
         LAG := T#30S);
PT1:= WRITE_INPUT_INT (
      4300 +
      real_to_int(LAG_PT1.out));

LAG_PT2 (IN := INT_TO_REAL(LVS_P),
         GAIN := 2.0,
         LAG := T#40S);
PT2:= WRITE_INPUT_INT (
      3330 +
      real_to_int(LAG_PT2.out));

LAG_PT3 (IN := INT_TO_REAL(LVS_P),
         GAIN := 1.2,
         LAG := T#40S);
PT3:= WRITE_INPUT_INT (
      2300 +
      real_to_int(LAG_PT3.out));

LAG_PT4 (IN := INT_TO_REAL(LVS_P),
         GAIN := 1.0,
         LAG := T#40S);
PT4:= WRITE_INPUT_INT (
      1200 +
      real_to_int(LAG_PT4.out));

```

Рис. 4.1.28. Імітація змінних за рахунок функціонального блоку LAG_FILTER

Далі були реалізовані автоматичний і ручний режими роботи двигуна. Також була реалізована кнопка аварійної зупинки.

```

(*реалізація авто/руч режиму роботи двигуна*)

if AUTO_HC then
  HC_M:=50.0;
else
  HC_M:=manual_HC;
end_if;

(*реалізація кнопки аварійної зупинки двигуна мішалки*)

if StopD_M then
  HC_M:=0.0;
end_if;

```

Рис. 4.1.29. Реалізація кнопок аварійної зупинки двигунів і авто/руч режиму роботи двигунів

Для перевірки функціонування регулюючих контурів тиску у першій та останній випарних колонах використовувалася сторінка, яка відображала графіки контурів регулювання та поточний статус їхнього контролю.

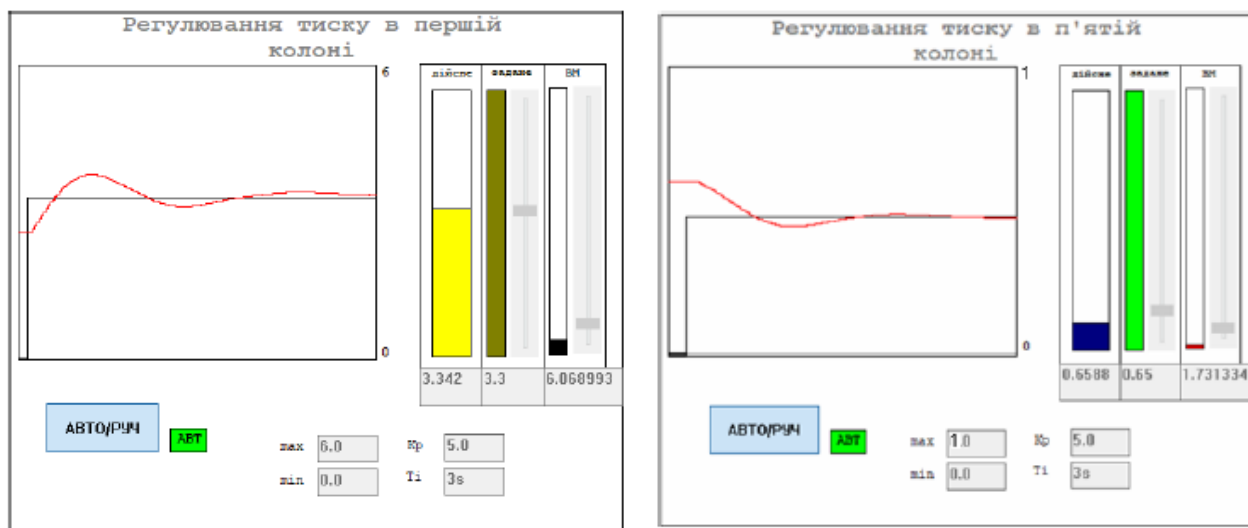


Рис. 4.1.30. Перевірка роботи контуру регулювання тиску

4.2. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога

У цукровому виробництві якість сировини, зокрема буряка, є ключовим фактором, оскільки безпосередньо впливає на технологічний процес. Навіть при використанні вдосконалених систем можуть виникати непередбачувані ситуації, такі як поломки обладнання або потрапляння сторонніх предметів, що може поставити під загрозу технологічний процес.

Система управління будь-яким процесом може ефективно реагувати на різні ситуації, надсилаючи сигнали тривоги або автоматично вимикаючи обладнання та устаткування. Однак рішення приймається людьми, тобто персоналом. Для продовження роботи їм необхідна повна інформація щодо події та можливість управління машиною як вручну, так і дистанційно.

У всіх вищезазначених ситуаціях важливо передбачити можливість обов'язкового залучення людини. У будь-якому випадку комунікація є необхідною. Вона дозволяє відстежувати стан конкретного процесу або системи в цілому та може бути використана для втручання в управління процесом.

В іншому випадку необхідно заздалегідь інтегрувати в систему управління людино-машинний інтерфейс (НМІ).

Модель системы | Оборудование | Теги | Алармы | Тренды | Аккумуляторы | SPC

Сохранить | Отменить | Копировать | Вставить | Удалить строки | Экспортировать все | Импортировать все | Обновить все метки

Теги

Имя дескрип	Устройст	Тип данных	Адрес	Ед.	П	Ф	Нас	Необработ	Мин.	Макс. зна	С	Проект
FE_M	PLCM34	REAL	%MW100	л/мин	Витратс	###.##	0	200	0	200		HMI_SU
LE1_M	PLCM34	REAL	%MW102	%	Датчик		0	100	0	100		HMI_SU
LE2_M	PLCM34	REAL	%MW104	%	Датчик		0	100	0	100		HMI_SU
LE3_M	PLCM34	REAL	%MW106	%	Датчик		0	100	0	100		HMI_SU
LE4_M	PLCM34	REAL	%MW108	%	Датчик		0	100	0	100		HMI_SU
LE5_M	PLCM34	REAL	%MW110	%	Датчик		0	100	0	100		HMI_SU
LE_C_M	PLCM34	REAL	%MW112	%	Датчик		0	100	0	100		HMI_SU
LVS_P_M	PLCM34	REAL	%MW114	%	Клапан		0	100	0	100		HMI_SU
LVSL1_M	PLCM34	REAL	%MW116	%	Клапан		0	100	0	100		HMI_SU
LVSL2_M	PLCM34	REAL	%MW118	%	Клапан		0	100	0	100		HMI_SU
LVSL3_M	PLCM34	REAL	%MW120	%	Клапан		0	100	0	100		HMI_SU
LVSL4_M	PLCM34	REAL	%MW122	%	Клапан		0	100	0	100		HMI_SU
PT1_M	PLCM34	REAL	%MW124	бар	Датчик		0	6	0	6		HMI_SU
PT2_M	PLCM34	REAL	%MW126	бар	Датчик		0	6	0	6		HMI_SU
PT3_M	PLCM34	REAL	%MW128	бар	Датчик		0	6	0	6		HMI_SU
PT4_M	PLCM34	REAL	%MW130	бар	Датчик		0	6	0	6		HMI_SU
PT5_M	PLCM34	REAL	%MW132	бар	Датчик		0	6	0	6		HMI_SU
PT_K_M	PLCM34	REAL	%MW134	бар	Датчик		0	6	0	6		HMI_SU
PT_S_M	PLCM34	REAL	%MW136	бар	Датчик		0	6	0	6		HMI_SU
QT_M	PLCM34	REAL	%MW138	%	Датчик		0	100	0	100		HMI_SU
TE1_M	PLCM34	REAL	%MW140	°C	Датчик		0	200	0	200		HMI_SU
TE2_M	PLCM34	REAL	%MW142	°C	Датчик		0	200	0	200		HMI_SU
TE3_M	PLCM34	REAL	%MW144	°C	Датчик		0	200	0	200		HMI_SU
TE4_M	PLCM34	REAL	%MW146	°C	Датчик		0	200	0	200		HMI_SU
TE5_M	PLCM34	REAL	%MW148	°C	Датчик		0	200	0	200		HMI_SU

Компьютеризировать сообщения

Рис. 4.2.1. Змінні теги в Citect Studio

Найти свойства

Оборудование

Оборудование _____

Имя элемента _____

Общие

Имя дескриптора LE1_M _____

Имя кластера _____

Устройство IO PLCM34 _____

Тип данных REAL _____

Адрес %MW102 _____

Примечание Датчик рівня в 1 колоні _____

Зона нечувствительности _____

Единицы измерения % _____

Формат _____

Масштаб

Необработанный нулевой ма 0 _____

Необработанный полный мас 100 _____

Мин. значение в единицах из 0 _____

Макс. значение в единицах и 100 _____

Рис. 4.2.2. Приклад налаштування змінних тег

Також в цьому редакторі можна налаштувати параметри трендів і тривог.

№	Имя дескриптора	Тип	Выражение	Период выборки	Примечание	Число файлов	Период	Время
1	PT1_SP	TRN_PERIODIC	PT1_SP	00:00:10		10	24:00:00	00:00:00
2	PT1_M	TRN_PERIODIC	PT1_M	00:00:10		10	24:00:00	00:00:00
3	LVS_P_M	TRN_PERIODIC	LVS_P_M	00:00:10		10	24:00:00	00:00:00
4	PTS_SP	TRN_PERIODIC	PTS_SP	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
5	PTS_M	TRN_PERIODIC	PTS_M	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
6	LVSS_P_M	TRN_PERIODIC	LVSS_P_M	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
7	manual_HC	TRN_PERIODIC	manual_HC	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
8	LE2_M	TRN_PERIODIC	LE2_M	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
9	LE1_M	TRN_PERIODIC	LE1_M	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
10	HC_SP	TRN_PERIODIC	HC_SP	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
11	HC_M	TRN_PERIODIC	HC_M	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
12	FE_M	TRN_PERIODIC	FE_M	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
13	Start_M	TRN_PERIODIC	Start_M	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
14	Stop_M	TRN_PERIODIC	Stop_M	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
15	StopD_M	TRN_PERIODIC	StopD_M	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
16	TCS_AUTO	TRN_PERIODIC	TCS_AUTO	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
17	TC1_AUTO	TRN_PERIODIC	TC1_AUTO	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
18	TE1_M	TRN_PERIODIC	TE1_M	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
19	TE2_M	TRN_PERIODIC	TE2_M	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
20	TE3_M	TRN_PERIODIC	TE3_M	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
21	LE3_M	TRN_PERIODIC	LE3_M	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
22	LVS1_L_NX_PT2_M	TRN_PERIODIC	PT2_M	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
23	LE4_M	TRN_PERIODIC	LE4_M	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
24	LE5_M	TRN_PERIODIC	LE5_M	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00
25	LVSL1_M	TRN_PERIODIC	LVSL1_M	00:00:05		10	24:00:00	00:00:00

Рис. 4.2.3. Вікно трендів в Citect Studio

Рис. 4.2.5. Відеокадри роботи SCADA-системи

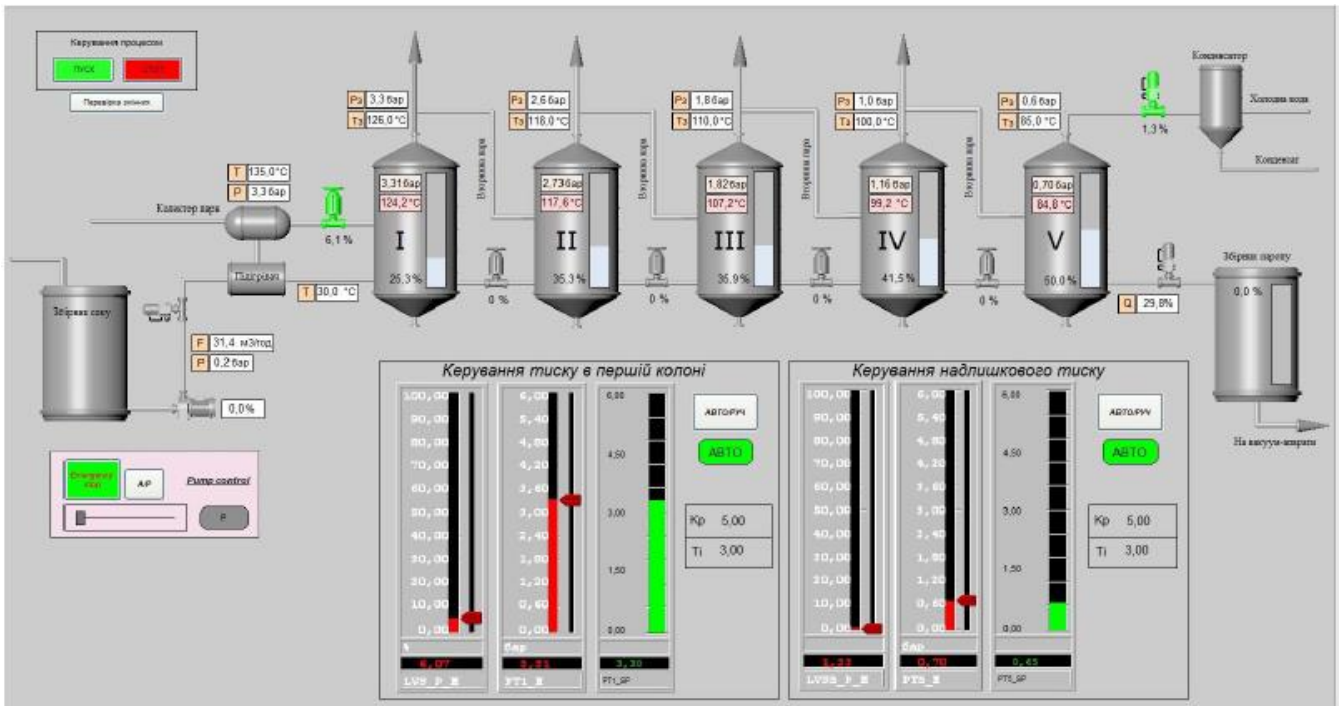


Рис. 4.2.6. Відеокадри роботи SCADA-системи

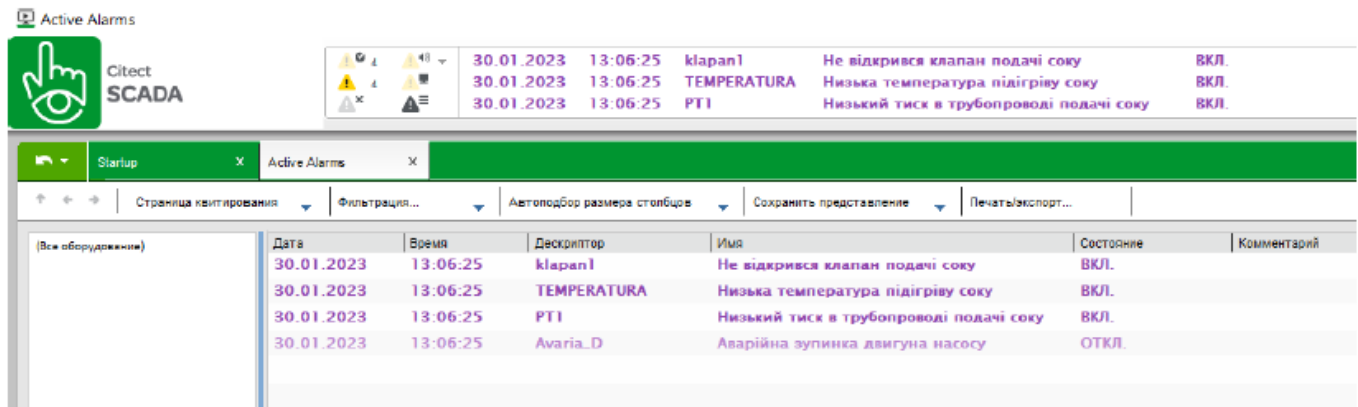


Рис. 4.2.7. Вікно тривоги

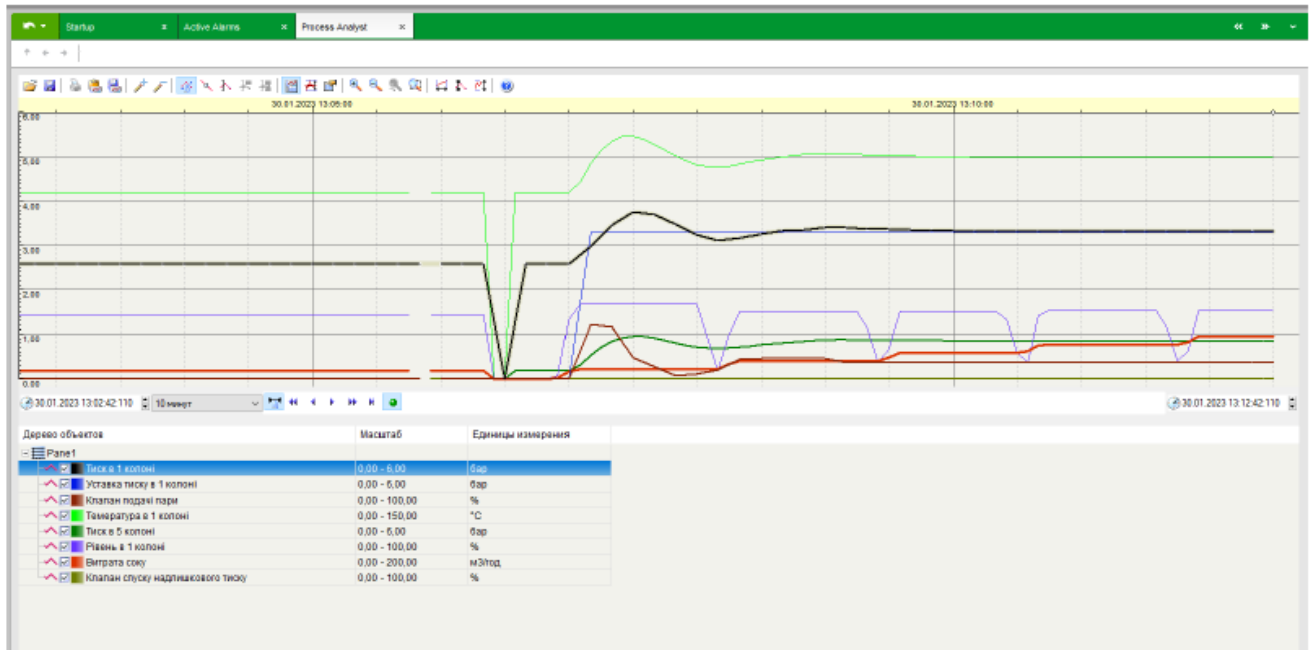


Рис. 4.2.8. Вікно трендів

4.3. Комп'ютерне моделювання системи автоматичного регулювання

Для комп'ютерного моделювання системи був обраний контур регулювання тиску в першому корпусі випарної станції. Цей параметр є одним із ключових, оскільки від нього залежать вихідні показники якості соку, що випаровується.

Основною метою при структуруванні математичної моделі є чітке визначення вхідних та вихідних сигналів.

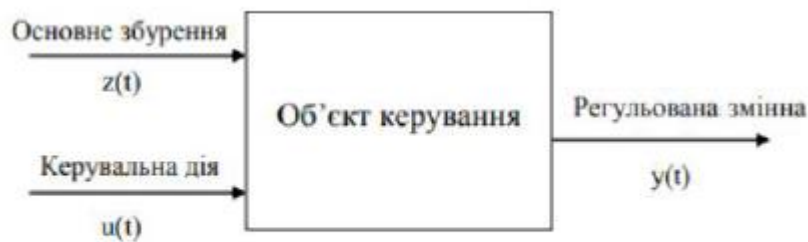


Рис. 4.3.1 Параметрична схема об'єкта

Точка, в яку подається дія автоматичної системи чи пристрою, отримала назву входу $u(t)$. Точка, де спостерігається ефект, викликаний даною дією, називається виходом $y(t)$. Позначення $z(t)$ використовується для зовнішньої дії, тобто впливу зовнішнього середовища. Під внутрішньою дією розуміється вплив однієї частини автоматичної системи на іншу в рамках системи автоматичного керування.

Таким чином, для заданого завдання, я сформував такі види сигналів:

Основне збурення	Початковий тиск в I корпусі випарної установки, бар
Керуюча дія	Клапан додачі пари з колектора пари, %ХРО (% ходу регулюючого органу)
Регульована змінна	Заданий тиск в I корпусі випарної станції, бар

На початковому етапі слід розробити структурну схему математичної моделі корпусної випарної станції типу I в середовищі Simulink, використовуючи програми Matlab для цього.

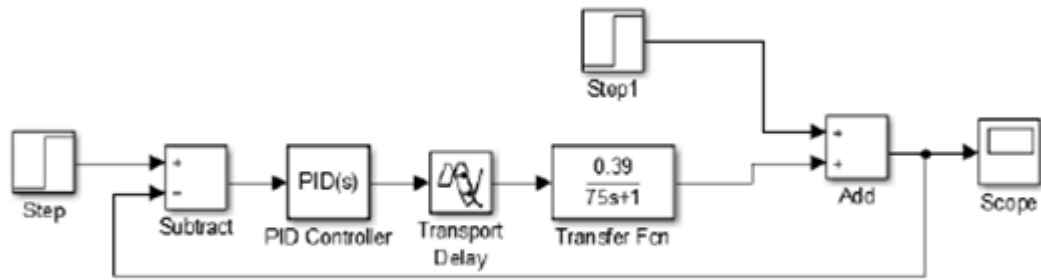


Рис. 4.3.1. Структурна схема з ПІД-регулятором

Наступним етапом було визначено налаштування ПІД-регулятора за методом Циглера-Нікольса, який є відомим з попередніх курсів:

$$k_p = 0,6 * k_{kp} = 0,6 * 12,24 = 7,34$$

$$T_i = T_{kp} / 2 = 38 / 2 = 19$$

$$k_i = k_p / T_i = 7,34 / 19 = 0,38$$

$$T_d = T_{kp} / 8 = 38 / 8 = 4,75$$

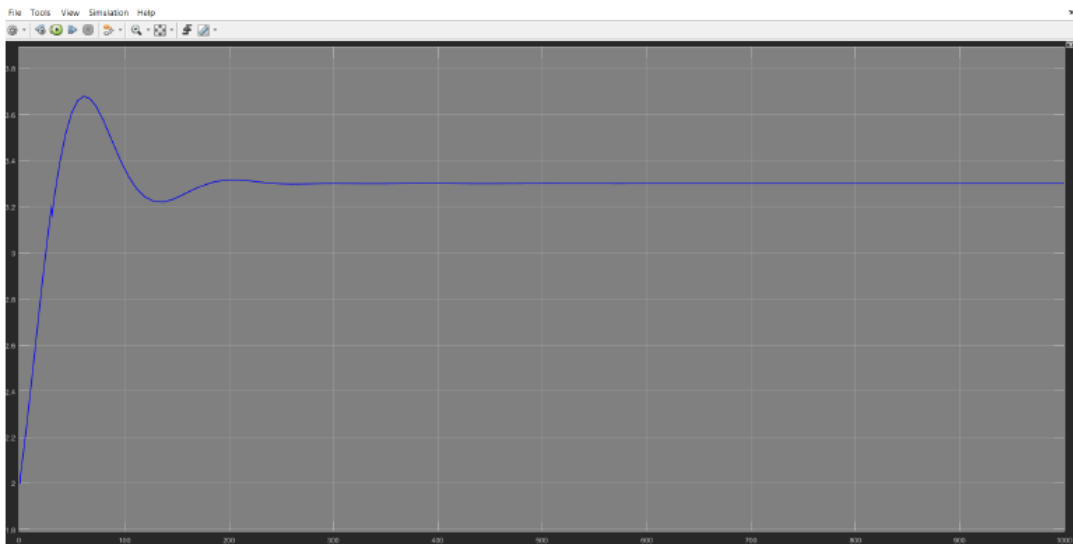


Рис. 4.3.3. Перехідний процес з застосуванням ПІД-регулятора

З даного перехідного процесу, котрий наведений вище встановлю оцінку якості використовуючи наступні показники:

Динамічна похибка $A1$	0.35 бар
Статична помилка регулювання $\Delta X_{ст}$	0
Час регулювання t_p	308 с.
Перерегулювання $a=(A2/A1)*100\%$	25.7%
Ступінь затухання $\psi =(A1-A3)/A1$	0.89

Отже, визначені параметри ПД-регулятора налаштовані з урахуванням оптимальних критеріїв якості перехідного процесу.

Для оптимізації перехідного процесу, в якому використовується ПД-регулятор для управління тиском в І корпусі випарної установки, я вирішив використовувати систему нечіткого логічного висновку. У цій системі впроваджено нечіткий регулятор, який працює за алгоритмом Сугено.

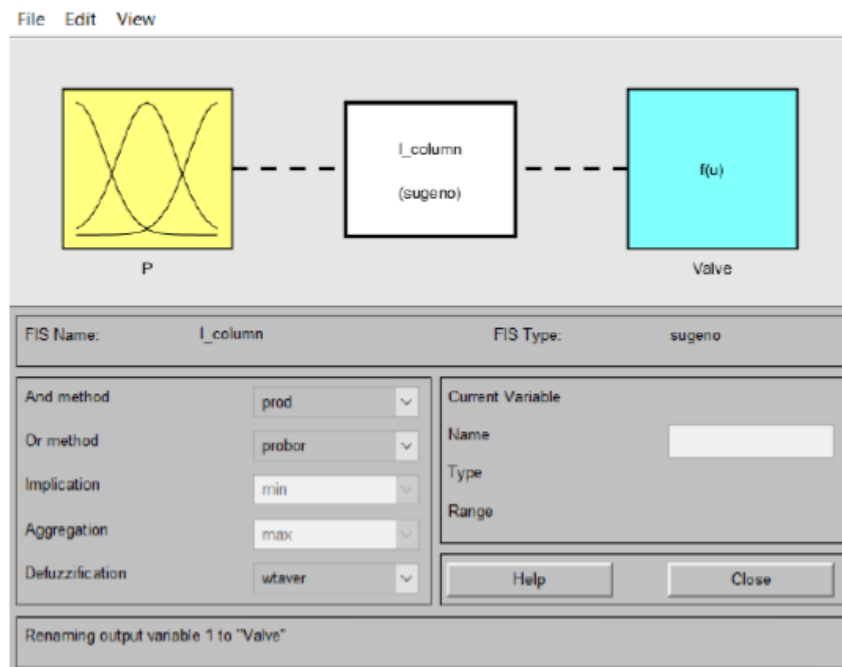


Рис. 4.3.4. Вікно редактора FIS-Editor

На вхід регулятора подається похибка, тобто різниця між заданим значенням тиску і фактичним значенням тиску в першій колоні випарної установки, а на виході - керуюча дія, тобто ступінь відкриття і закриття клапана, що подає пару з парового колектора.

Лінгвістична апроксимація похибки на вході регулятора характеризується узагальненою дзвоноподібною функцією належності.

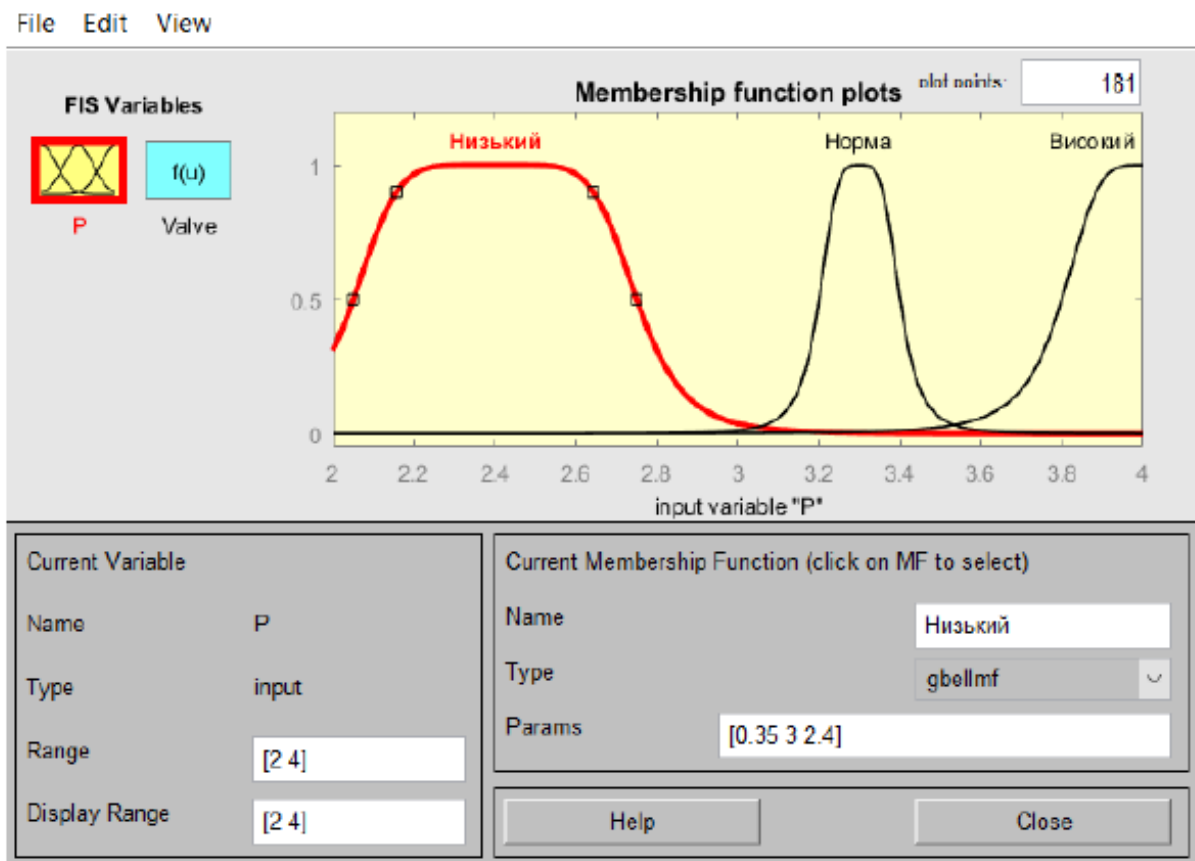


Рис. 4.3.5 Функція належності «Низький тиск»

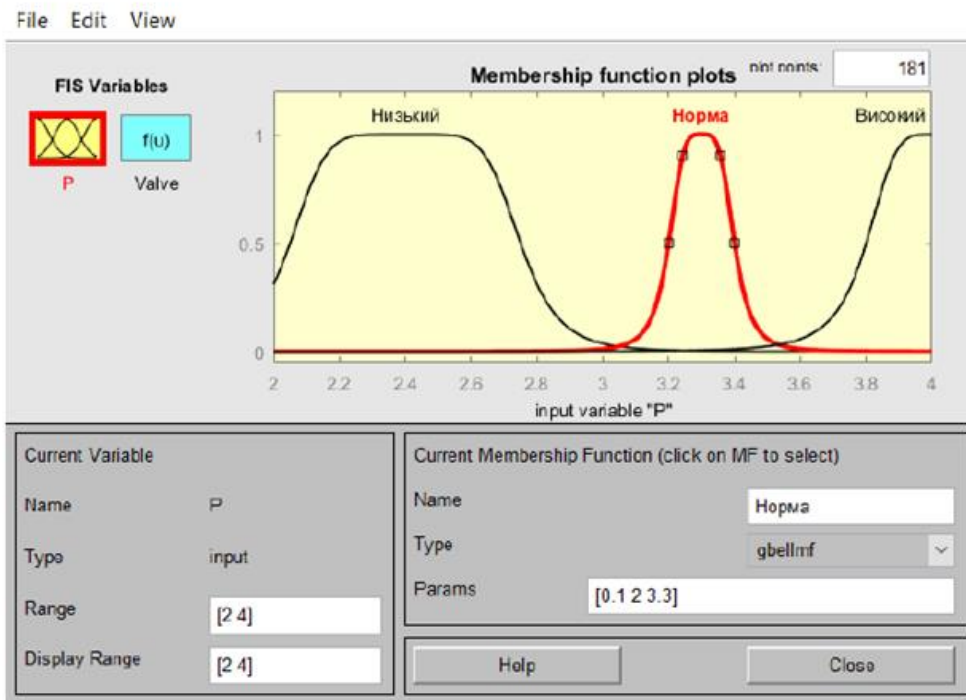


Рис. 4.3.6. Функція належності «Нормальний тиск»

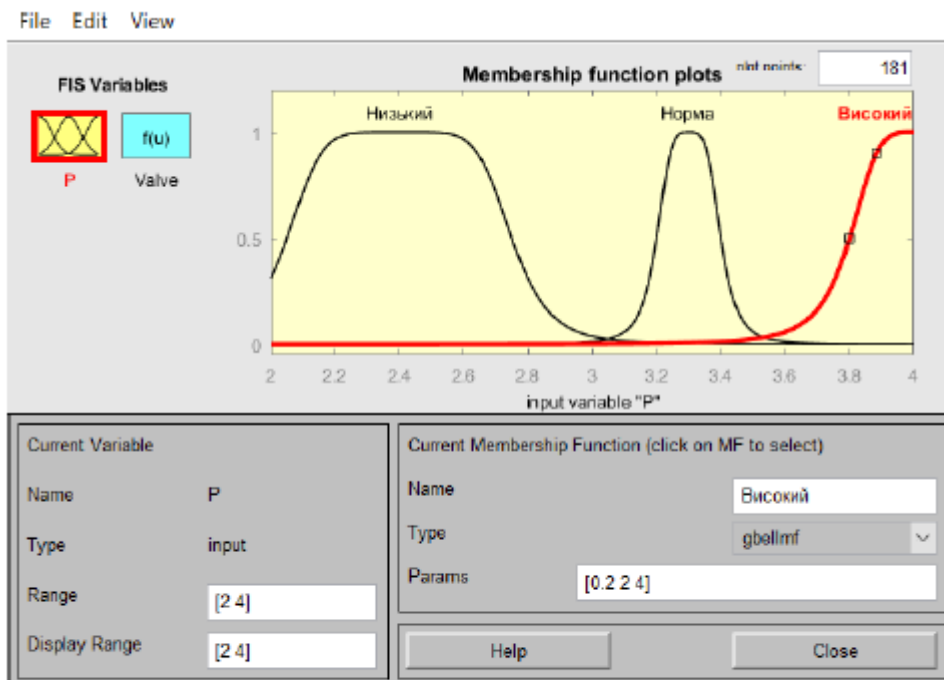


Рис. 4.3.7. Функція належності «Високий тиск»

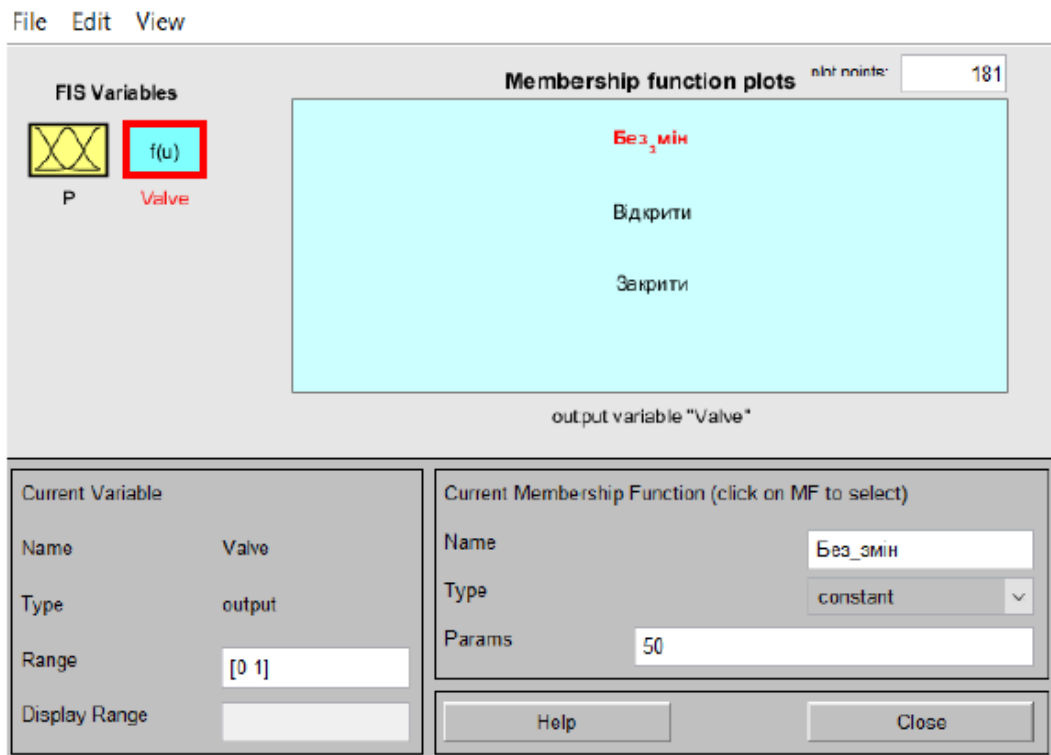


Рис. 4.3.8. Функція належності «Без змін»

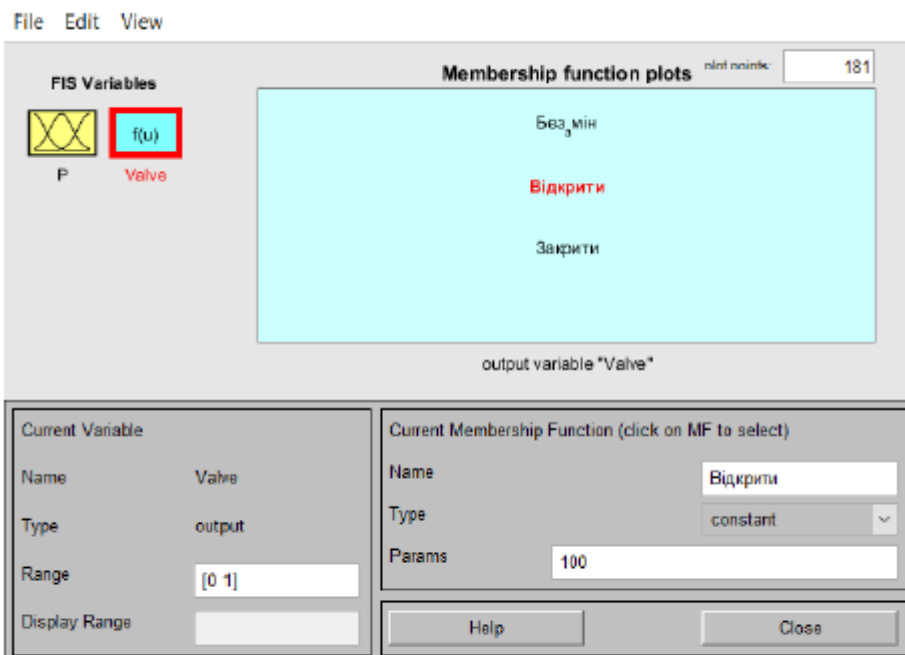


Рис. 4.3.9. Функція належності «Відкрити»

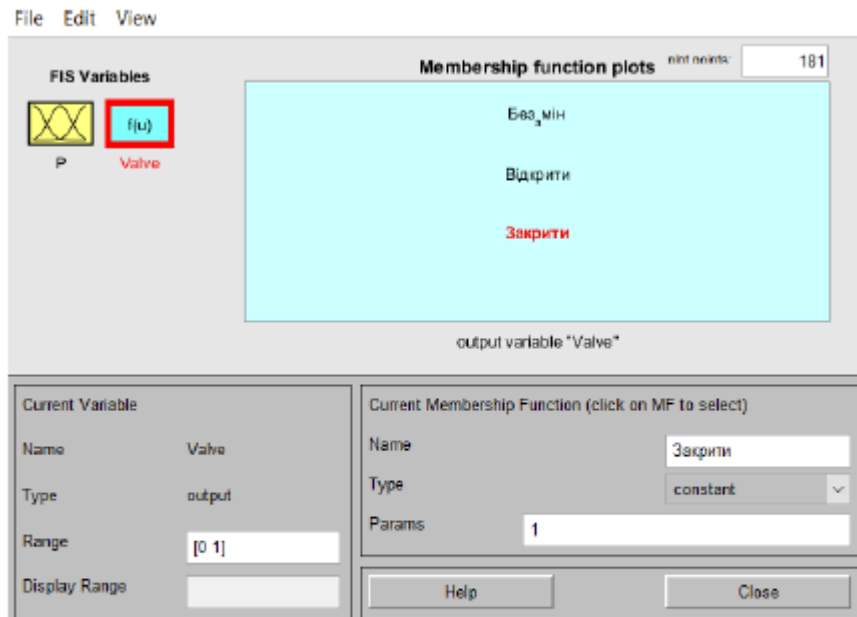


Рис. 4.3.10. Функція належності «Закрити»

Нечіткій регулятор покладаються на правила для виконання своїх дій. Ці правила перераховані нижче.

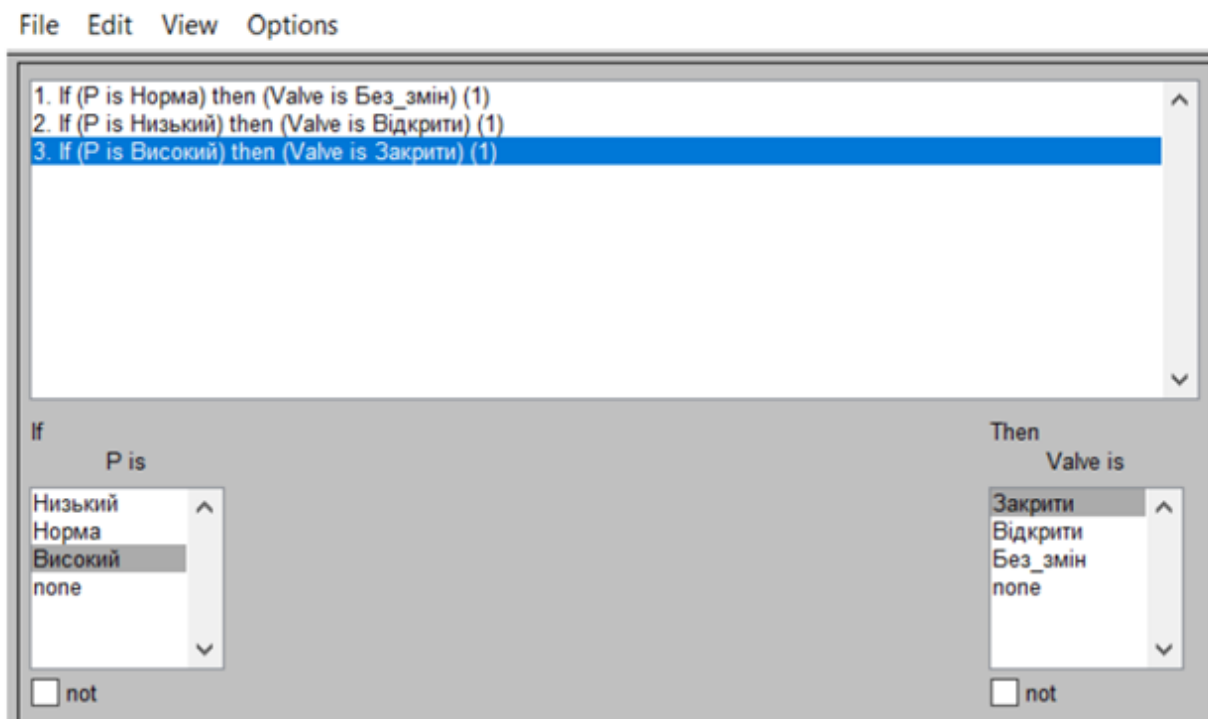


Рис. 4.3.11. База правил для нечіткого регулятора

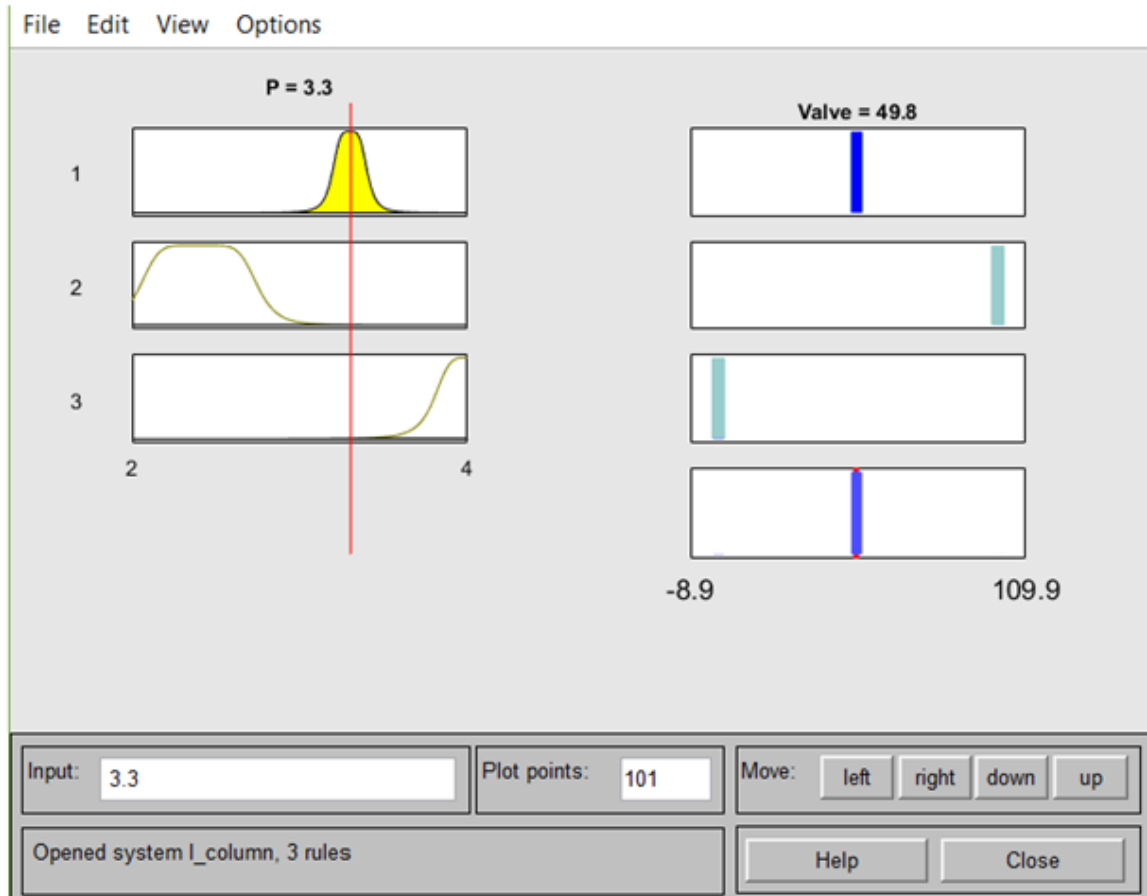


Рис. 4.3.12. Графічного відображення роботи алгоритму нечіткого висновку

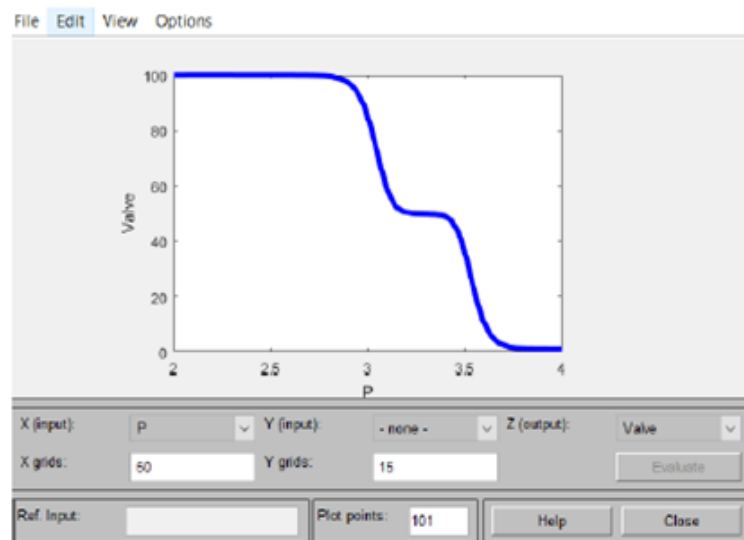


Рис. 4.3.13. Поверхні відгуку залежності зміни тиску та клапана

Структурну схему математичної моделі I корпусної випарної станції з використанням нечіткого регулятора побудовано аналогічно попередньому випадку.

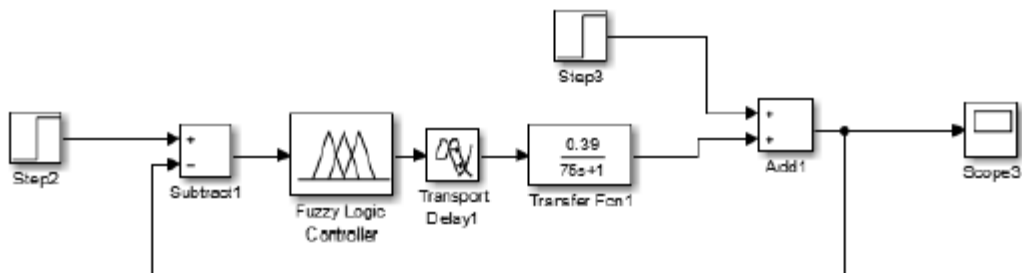


Рис. 4.3.14. Модель I корпусу випарної станції з нечітким регулятором

На наведеному нижче рисунку представлений перехідний процес регулювання тиску в I корпусі випарної станції за участю нечіткого регулятора.

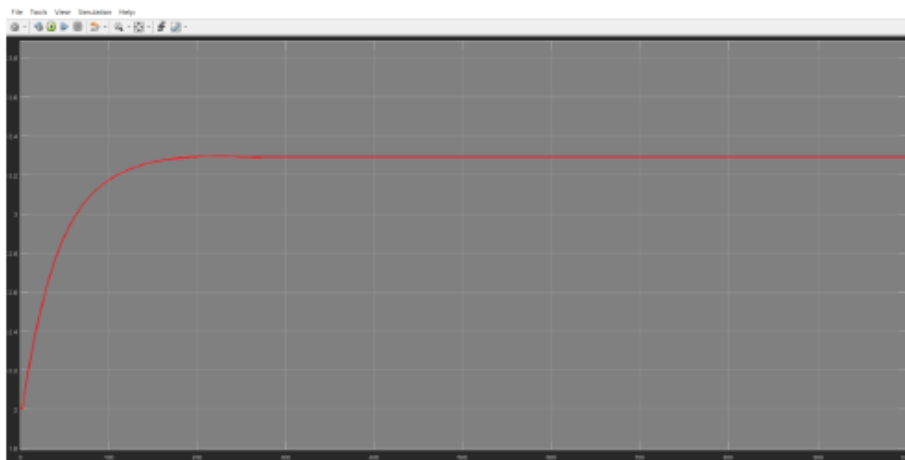


Рис. 4.3.15. Перехідний процес регулювання тиску в I корпусі випарної станції з нечітким регулятором

Для порівняння роботи ПД та нечітких регуляторів блок-схему змінено, як показано на наведеному нижче рисунку.

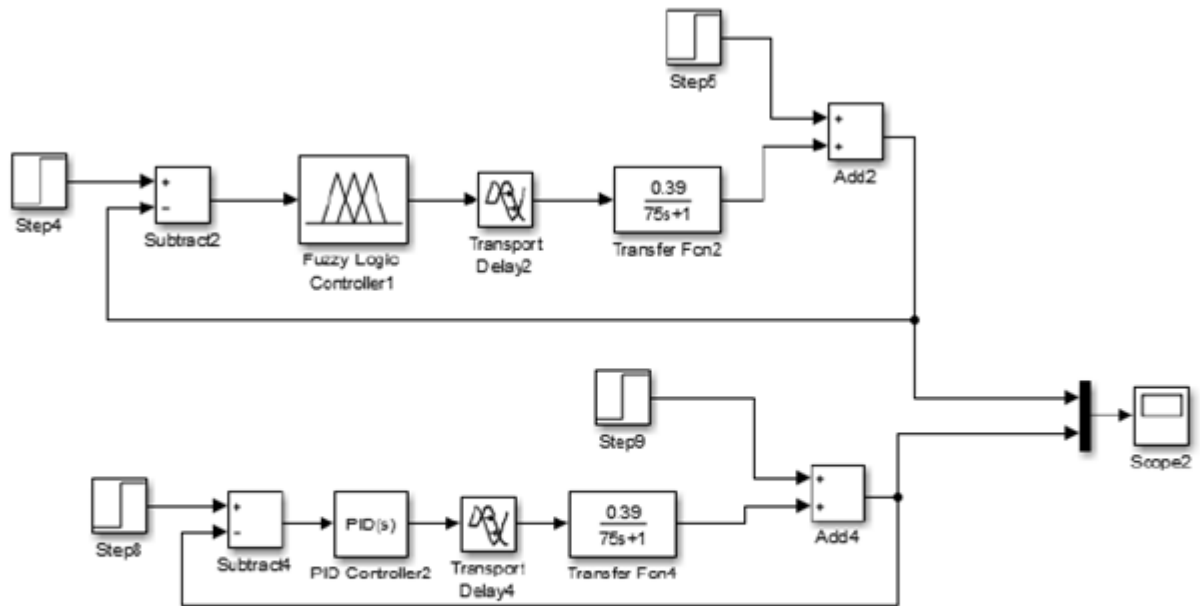


Рис. 4.3.16. Порівняльна структурна схема САР

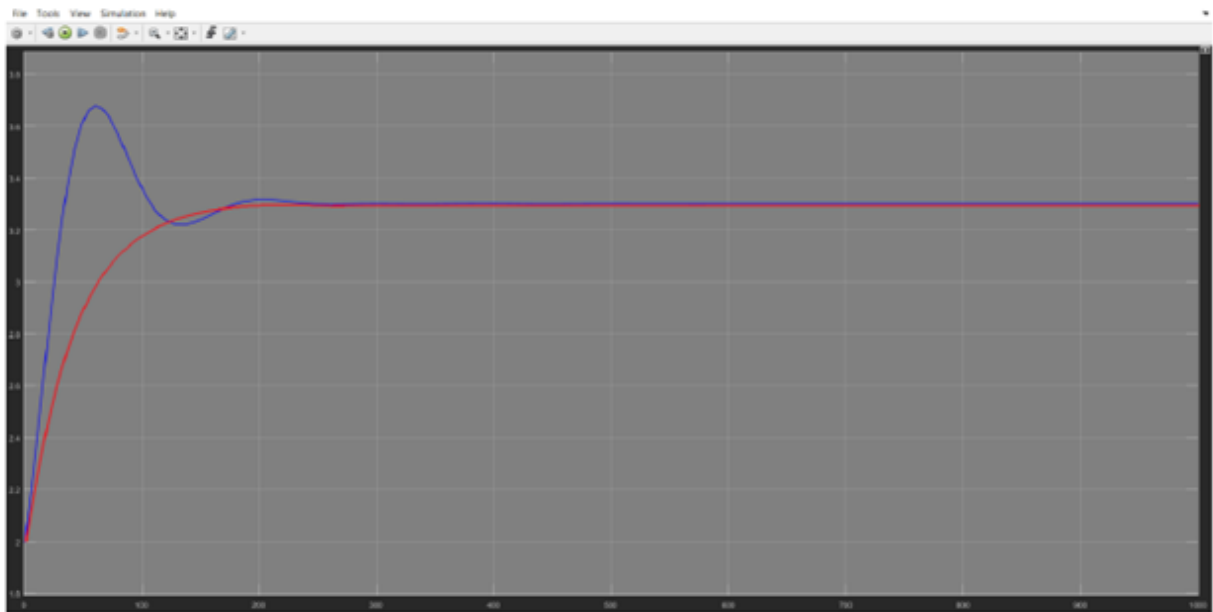


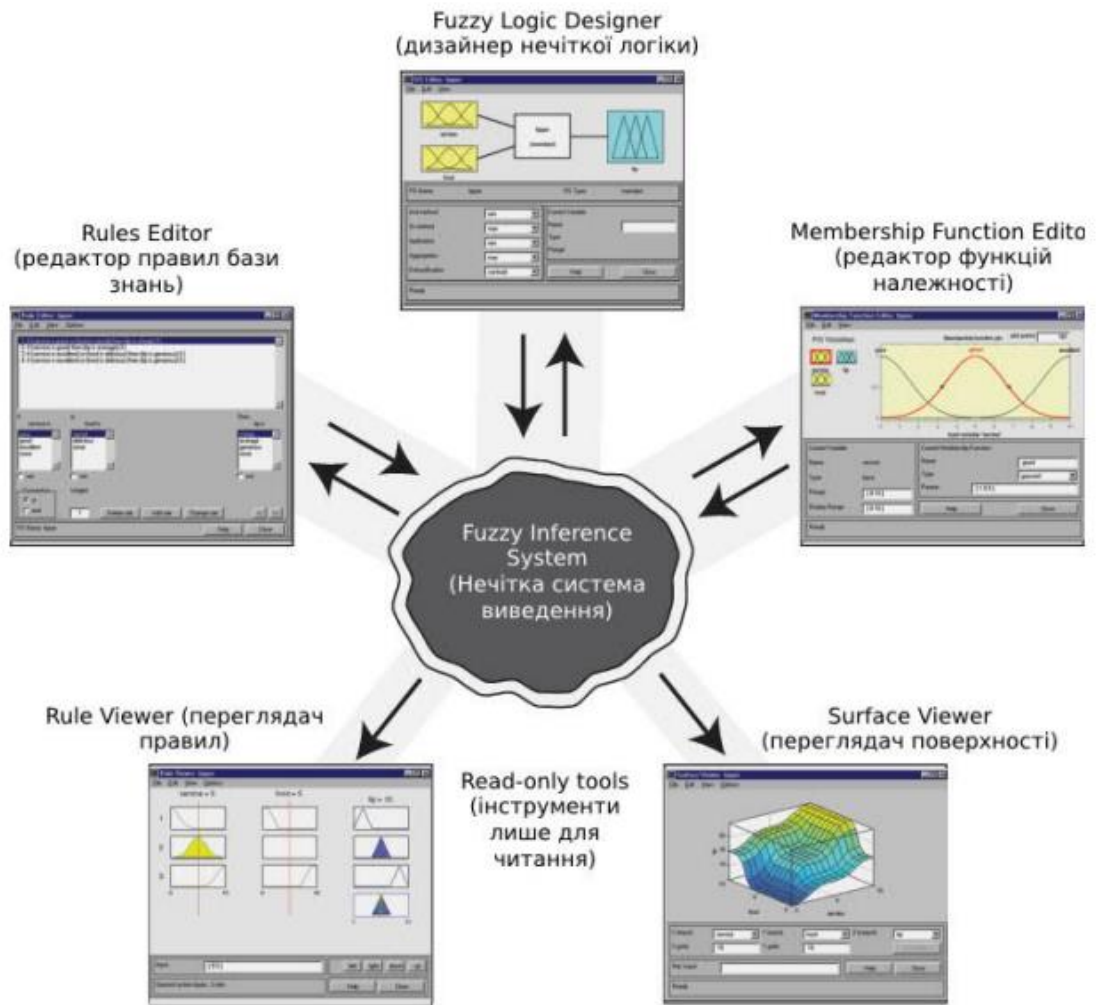
Рис. 4.3.17. Перехідні процеси регулювання ПІД- та нечіткого регуляторів

За результатами порівняння двох перехідних процесів, які я отримав, можна зробити наступні узагальнені висновки:

1) Динамічна похибка з використанням нечіткого регулятора є значно меншою ніж з використанням ПДД-регулятора і складає 0,35 бар.
2) Статична похибка в обох випадках дорівнює 0.
3) Час регулювання у випадку з використанням ПДД-регулятора складає 308 с., а з використанням нечіткого – 202 с.
4) Перерегулювання з використанням ПДД-регулятора складає 25,7%, а в другому випадку його розрахувати неможливо.
5) Ступінь затухання з використанням ПДД-регулятора дорівнює 0,89, а з використанням нечіткого регулятора розрахувати неможливо, так як відсутня третя амплітуда.

4.4. Побудова інтелектуальної системи управління якістю процесом випарювання дифузійного соку на п'ятикорпусній випарній установці

Для моделювання нечітких систем у середовищі Matlab використовується Fuzzy Logic Toolbox, який містить у собі 5 компонентів, зображення яких представлено нижче.



Інтелектуальна система управління якістю процесом випарювання дифузійного соку забезпечує визначення якості густини сиропу на виході з останньої колони випарної станції за наступними технологічними параметрами:

- Рівень в I,II,III,IV та V корпусах;

- Тиск в I,II,III,IV та V корпусах;
- Температура в I,II,III,IV та V корпусах;
- Густина сиропу.

Інтелектуальна система управління якістю процесом випарювання дифузійного соку сформована за рахунок застосування методів нечіткої логіки на основі алгоритму Мамдані.

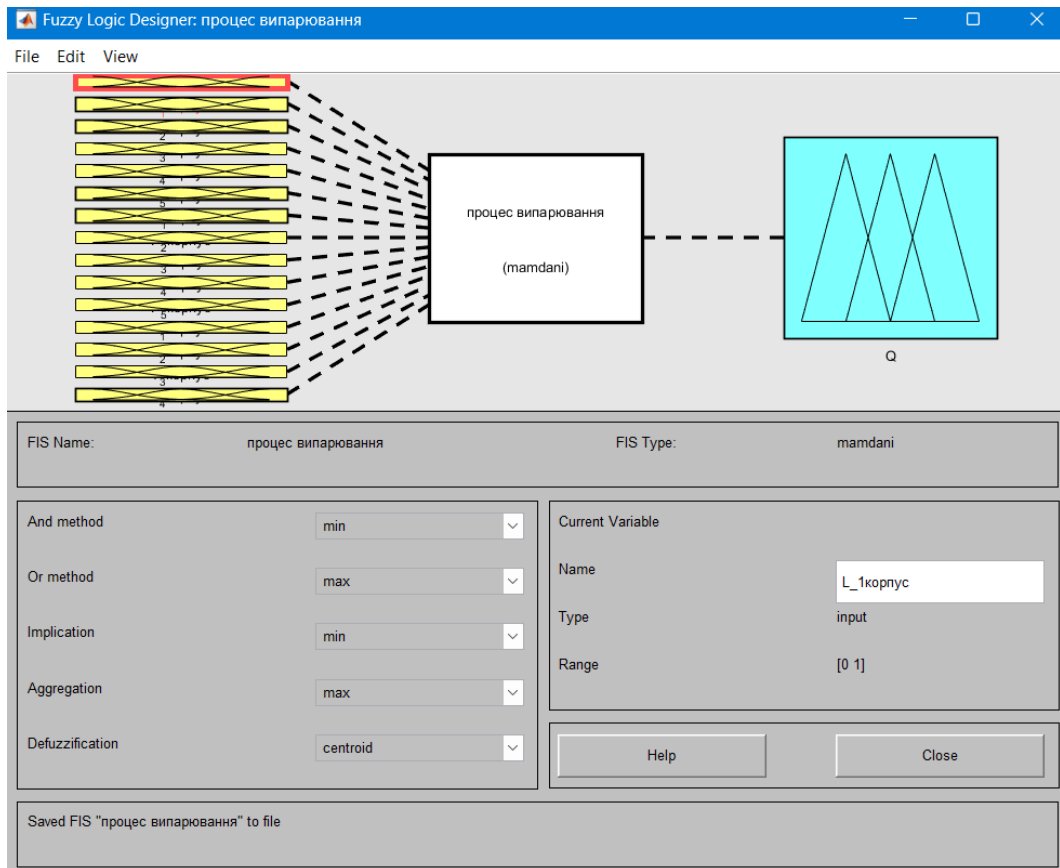


Рис.4.4.1. Інтелектуальна система управління якістю процесом випарювання дифузійного соку на п'ятикорпусній випарній установці

Далі мною було проведено лінгвістичну апроксимацію кожного параметра, який бере участь в основі алгоритму Мамдані.

Для лінгвістичну апроксимацію рівнів у кожному корпусі було використано гаусівську (gaussmf) функцію належності.

$y = \text{gaussmf}(x, \text{params})$ повертає нечіткі значення належності, обчислені за допомогою наступної функції належності Гауса:

$$f(x; \sigma, c) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}}$$

Параметри функції належності, задані як вектор $[\sigma \ c]$, де σ — стандартне відхилення, а c — середнє.

Для лінгвістичну апроксимацію тиску у кожному корпусі було використано трикутної (trimf) функцію належності.

$y = \text{trimf}(x, \text{params})$ повертає нечіткі значення належності, обчислені за допомогою такої трикутної функції належності:

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}$$

Параметри функції приналежності, задані як вектор $[a \ b \ c]$. Параметри a і c визначають *ніжки* функції приналежності, а параметри b визначають її *вершину*.

Для лінгвістичну апроксимацію температури у кожному корпусі було використано узагальнене дзвоноподібну (gbellmf) функцію належності.

$y = \text{gbellmf}(x, \text{params})$ повертає нечіткі значення належності, обчислені за допомогою такої узагальненої дзвоноподібної функції належності:

$$f(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c}{a} \right|^{2b}}$$

Параметри функції приналежності, задані як вектор [a b c], де:

- a визначає ширину функції належності, де більше значення створює ширшу функцію належності.
- b визначає форму кривої по обидва боки від центрального плато, де більше значення створює більш крутий перехід.
- c визначає центр функції належності.

Нижче наведені фото-звітність лінгвістичної апроксимації, на якій зображені назви та параметри функцій належності. На приклад для відображення рівня в I корпусу було використано такі параметри:

- Дуже низький – рівень в I корпусі дуже низький, параметри функції належності [1 15]. (рис. 4.4.2.)
- Низький - рівень в I корпусі низький, параметри функції належності [1 20]. (рис. 4.4.3.)
- Норма - рівень в I корпусі знаходиться в нормі, параметри функції належності [1 25]. (рис. 4.4.4.)
- Високий- рівень в I корпусі високий, параметри функції належності [1 30]. (рис. 4.4.5.)
- Дуже високий - рівень в I корпусі дуже високий, параметри функції належності [1 35]. (рис. 4.4.6.)

Таким чином було проведено лінгвістичну апроксимацію рівня в кожному з корпусів.

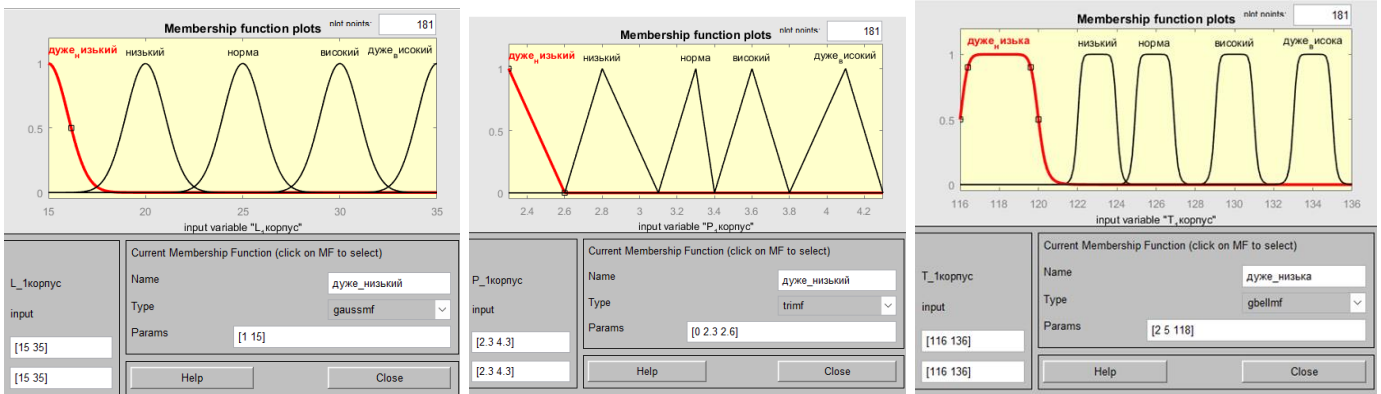


Рис.4.4.2. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в І корпусі «дуже низкий/дуже низка»

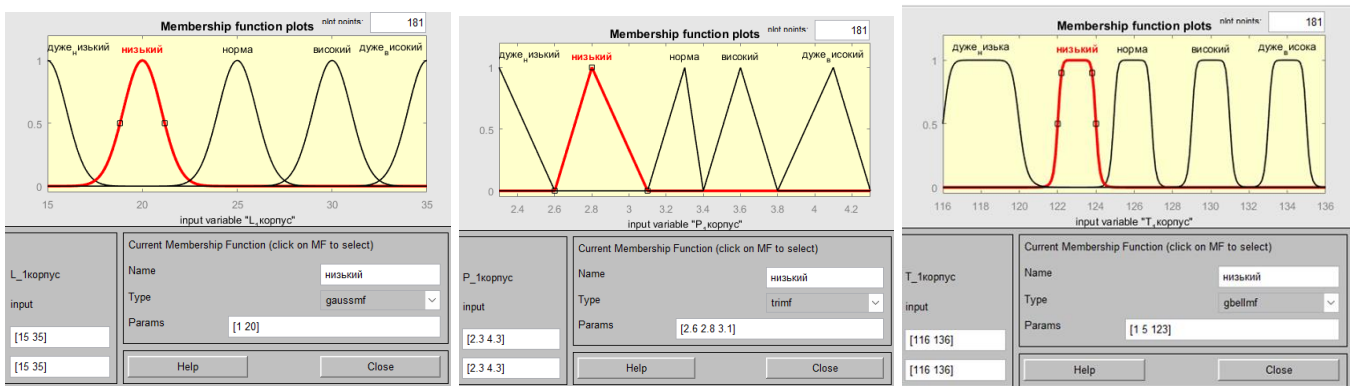


Рис.4.4.3. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в І корпусі «низкий/низка»

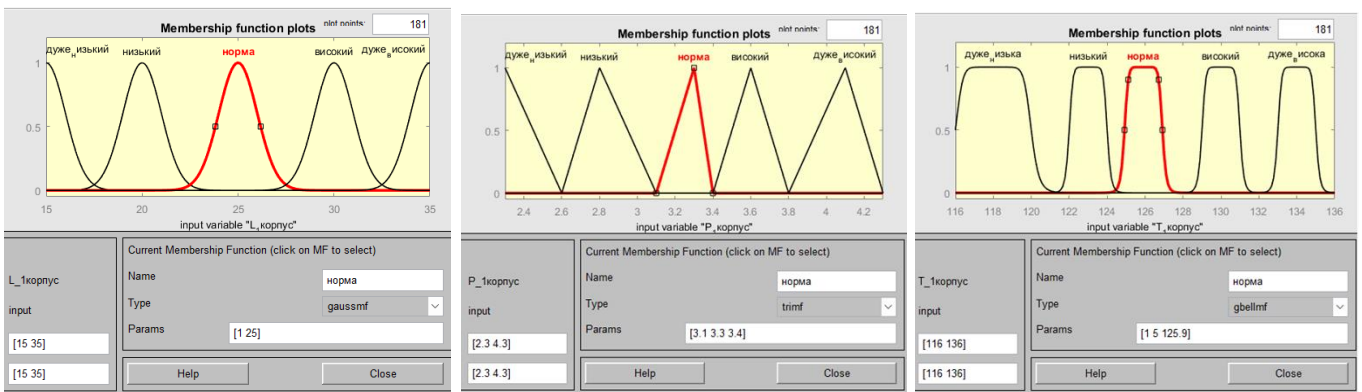


Рис.4.4.3. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в І корпусі «норма»

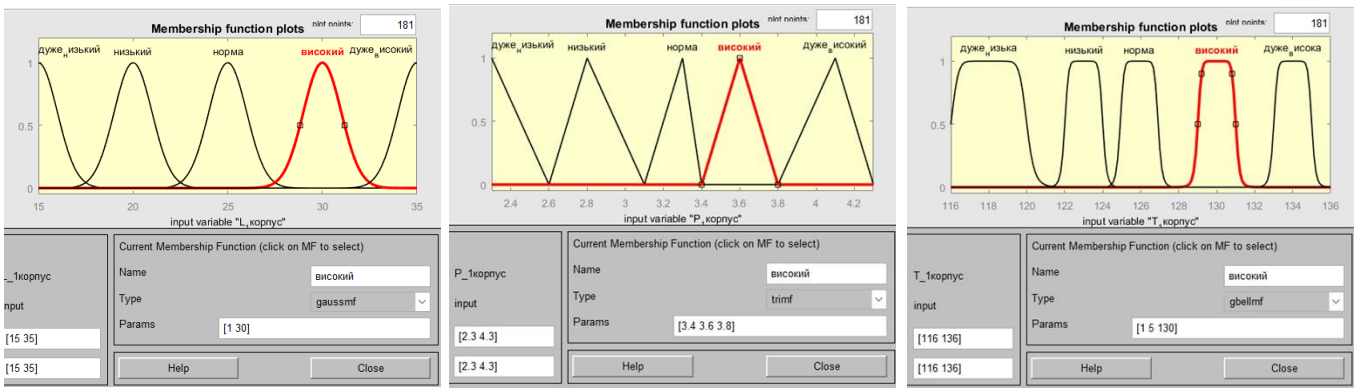


Рис.4.4.4. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в I корпусі
«високий/висока»

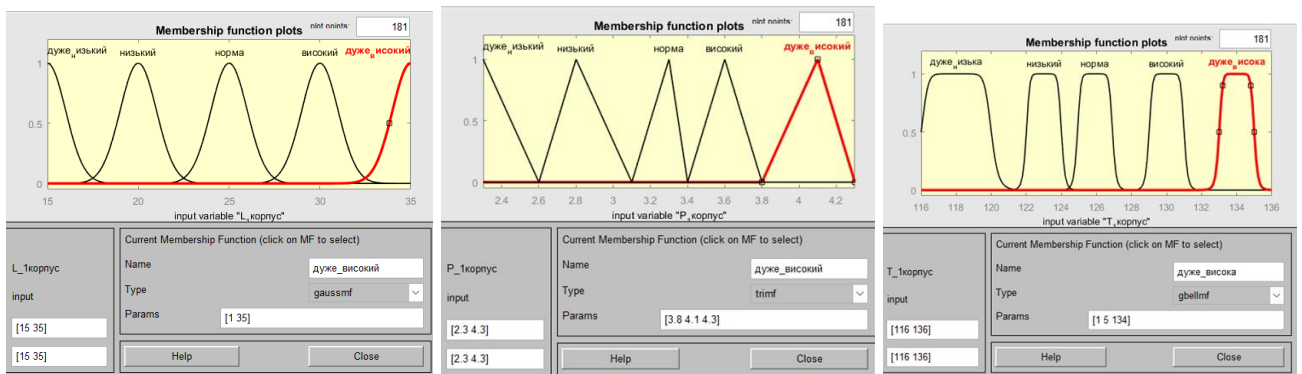


Рис.4.4.5. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в I корпусі
«дуже високий/дуже висока»

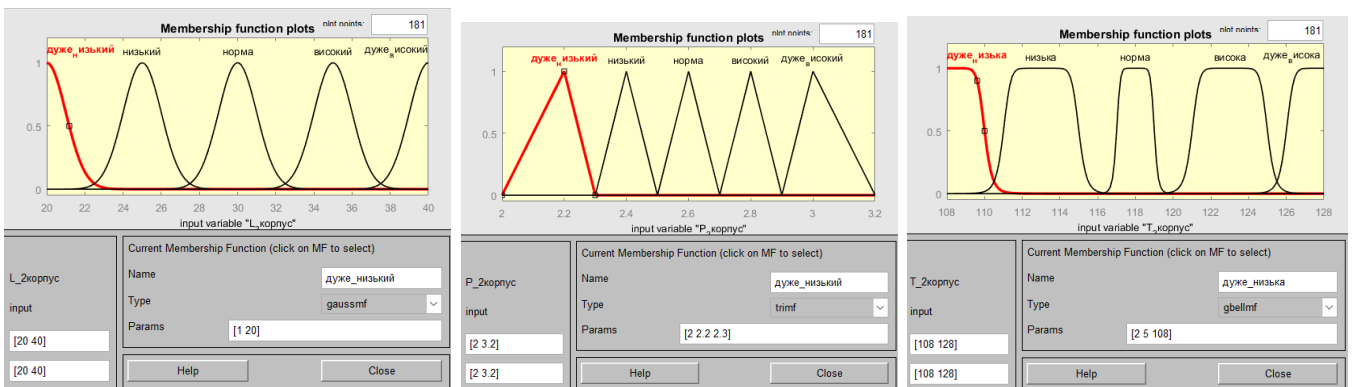


Рис.4.4.6. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в II корпусі
«дуже низький/дуже низька»

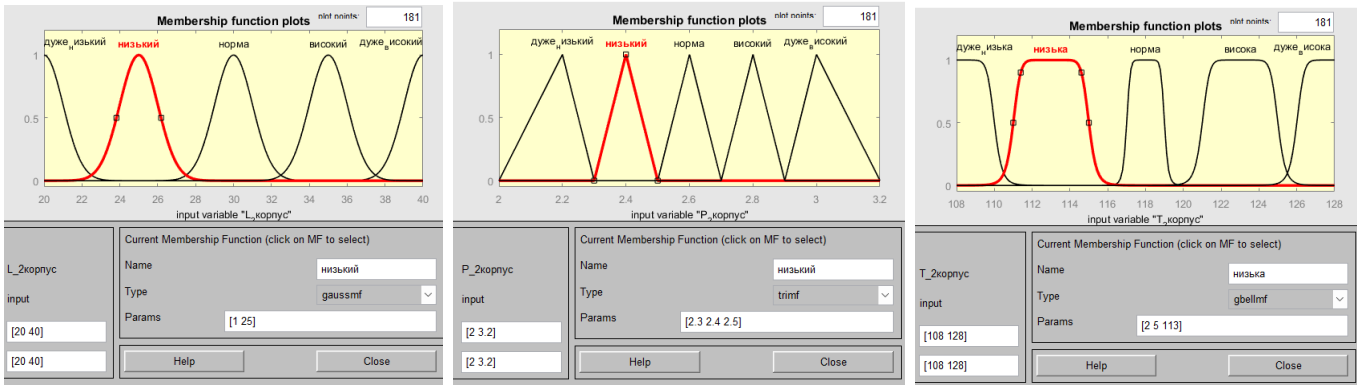


Рис.4.4.7. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в II корпусі «низький/низька»

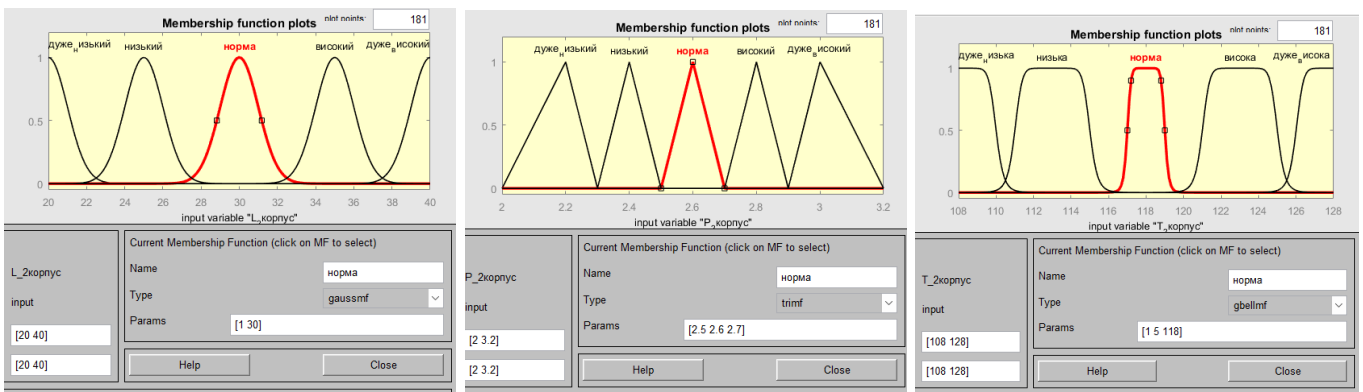


Рис.4.4.8. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в II корпусі «норма»

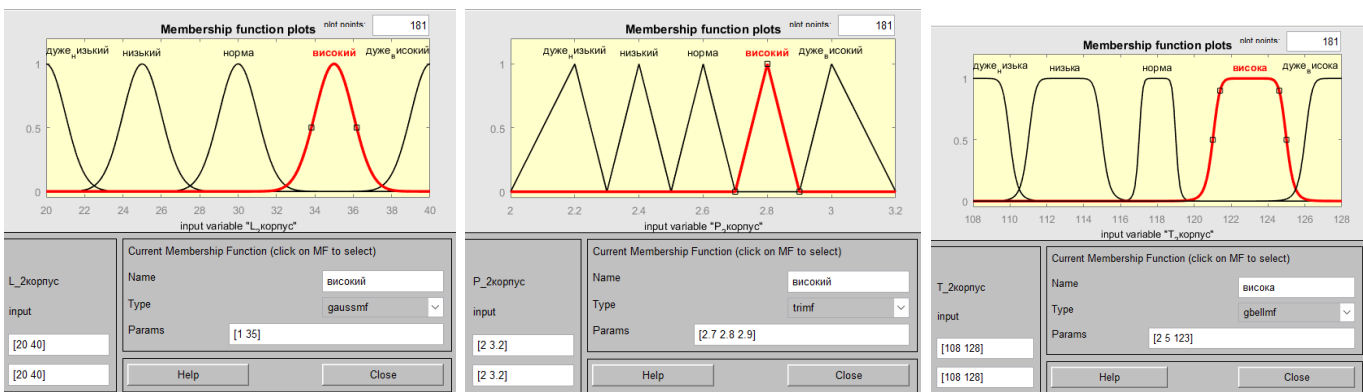


Рис.4.4.9. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в II корпусі «високий/висока»

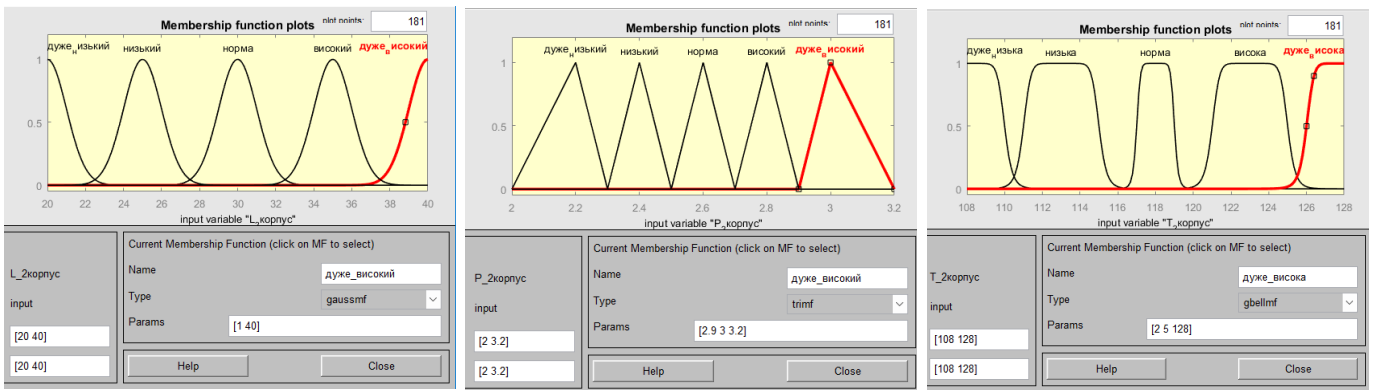


Рис.4.4.10. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в II корпусі «дуже високий/дуже висока»

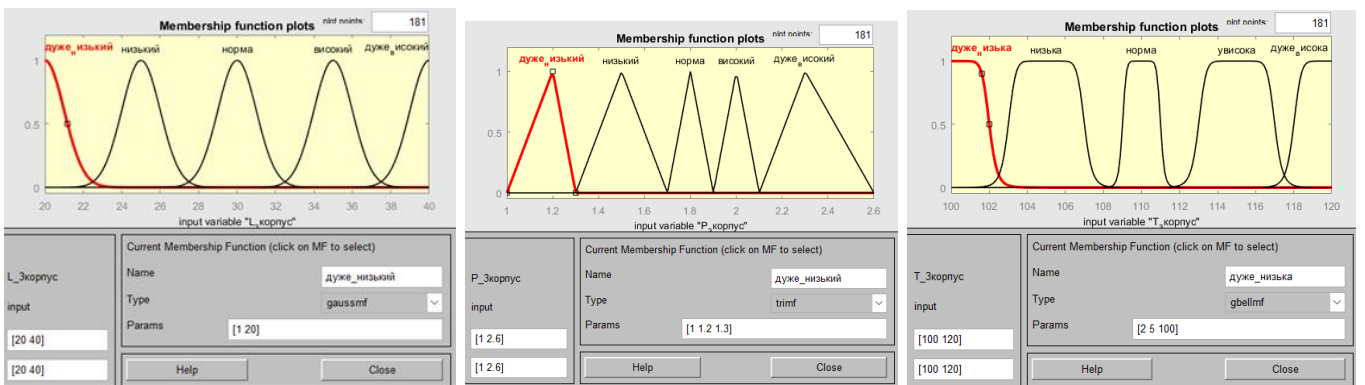


Рис.4.4.11. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в III корпусі «дуже низький/дуже низька»

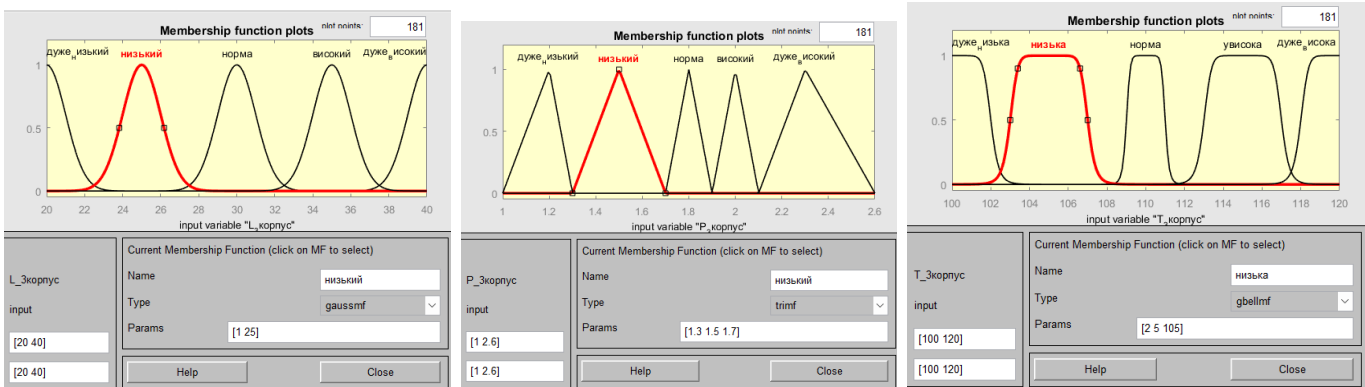


Рис.4.4.12. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в III корпусі «низький/низька»

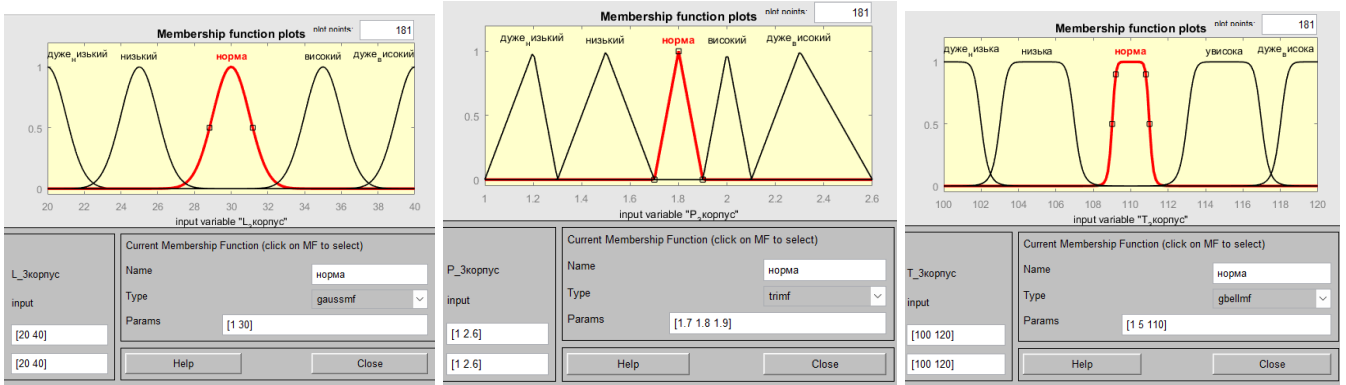


Рис.4.4.13. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в ІІІ корпусі
«норма»

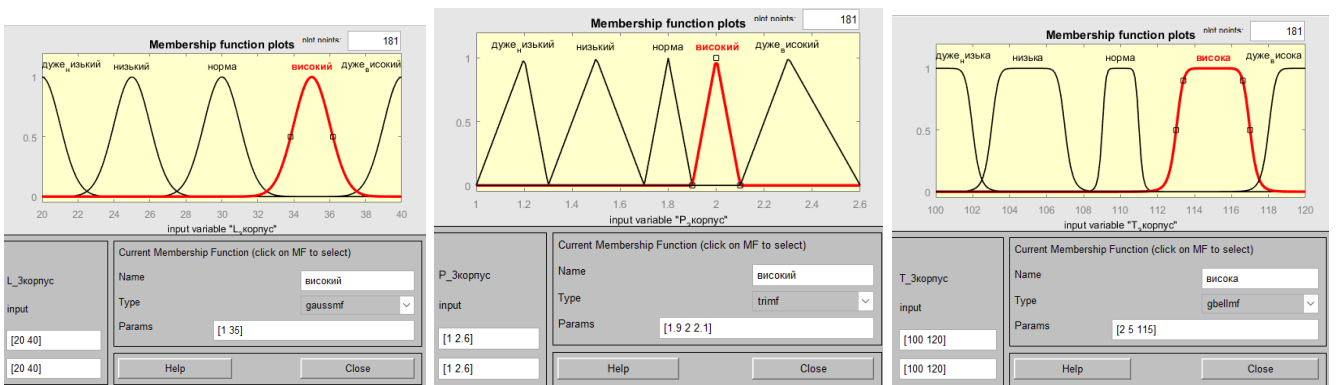


Рис.4.4.14. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в ІІІ корпусі
«високий/висока»

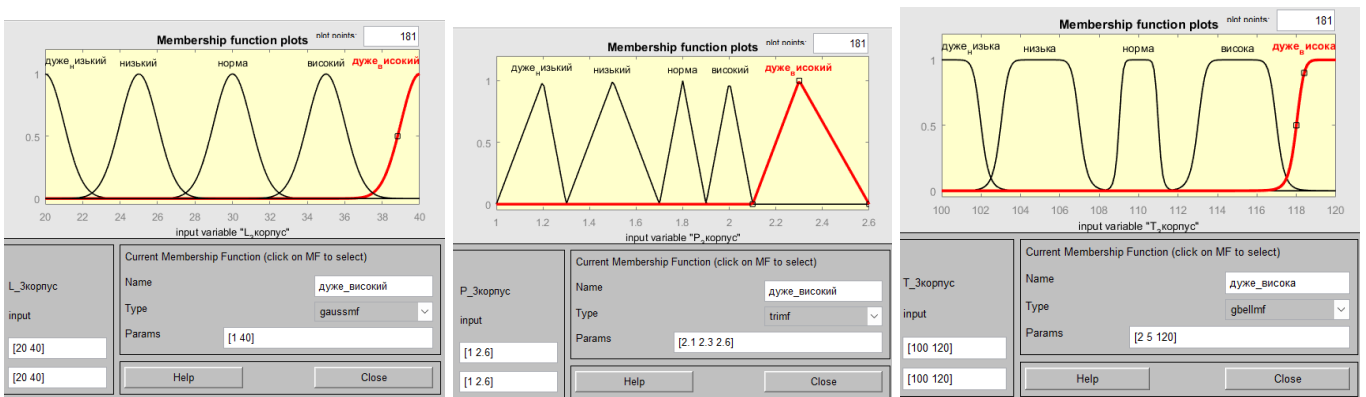


Рис.4.4.15. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в ІІІ корпусі
«дуже високий/дуже висока»

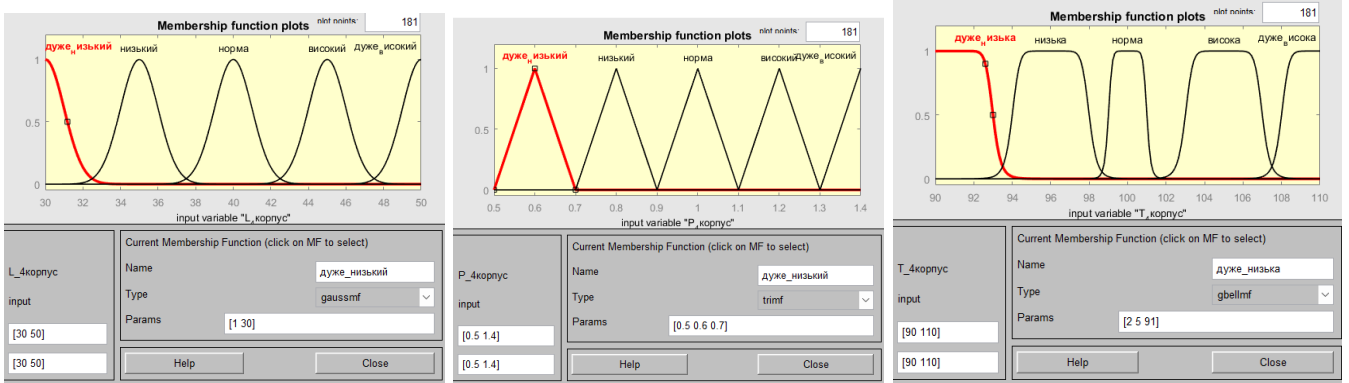


Рис.4.4.16. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в IV корпусі «дуже низкий/дуже низка»

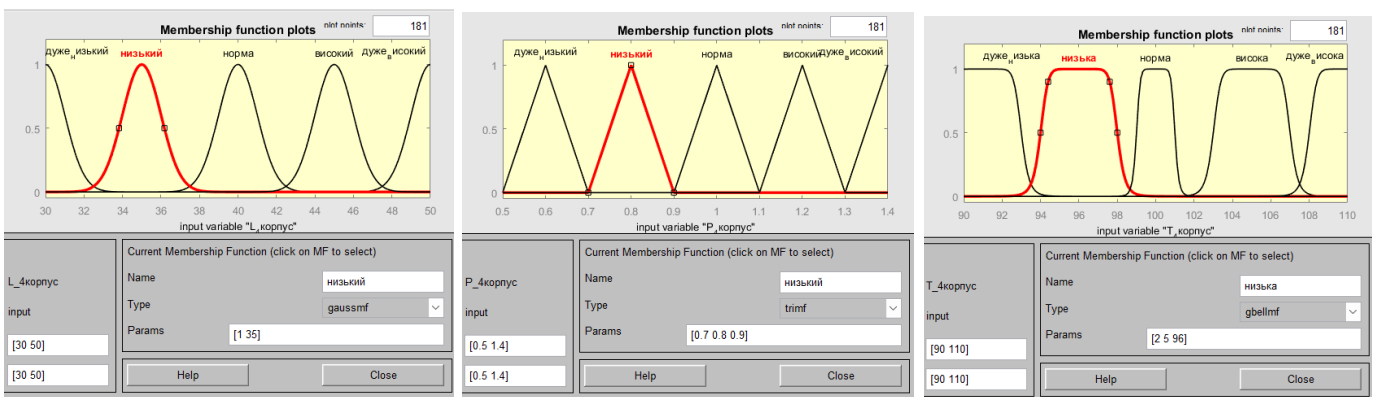


Рис.4.4.17. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в IV корпусі «низкий/низкая»

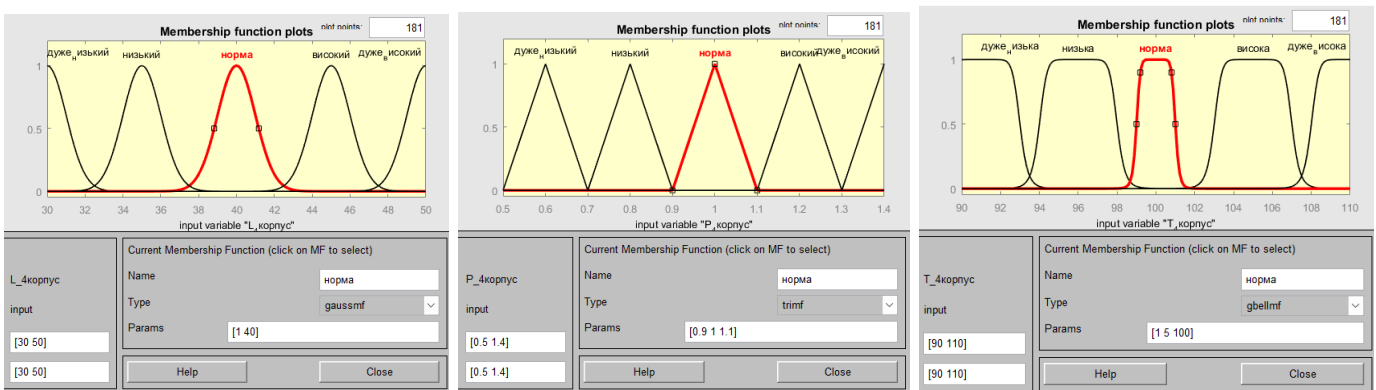


Рис.4.4.18. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в IV корпусі «норма»

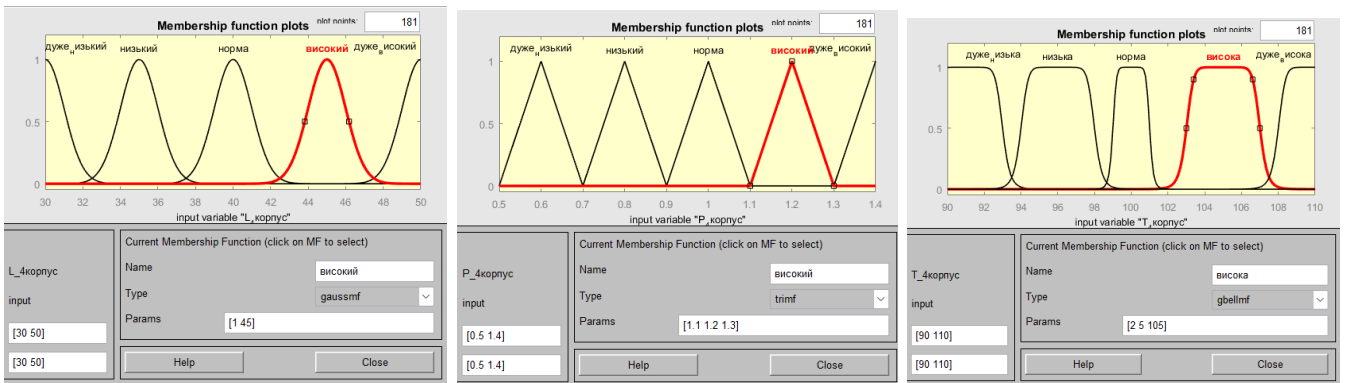


Рис.4.4.19. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в IV корпусі «високий/висока»

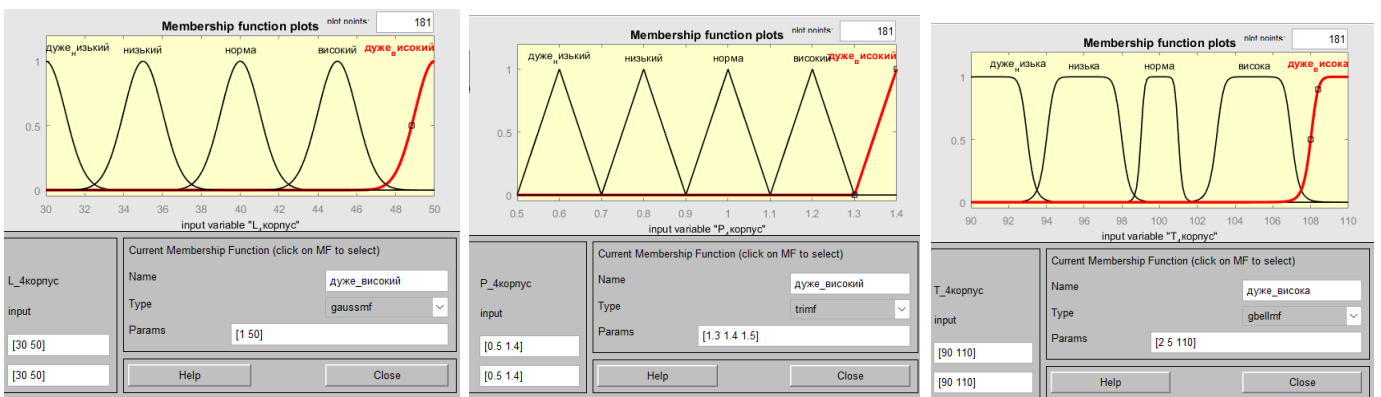


Рис.4.4.20. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в IV корпусі «дуже високий/дуже висока»



Рис.4.4.21. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в V корпусі «дуже низький/дуже низька»

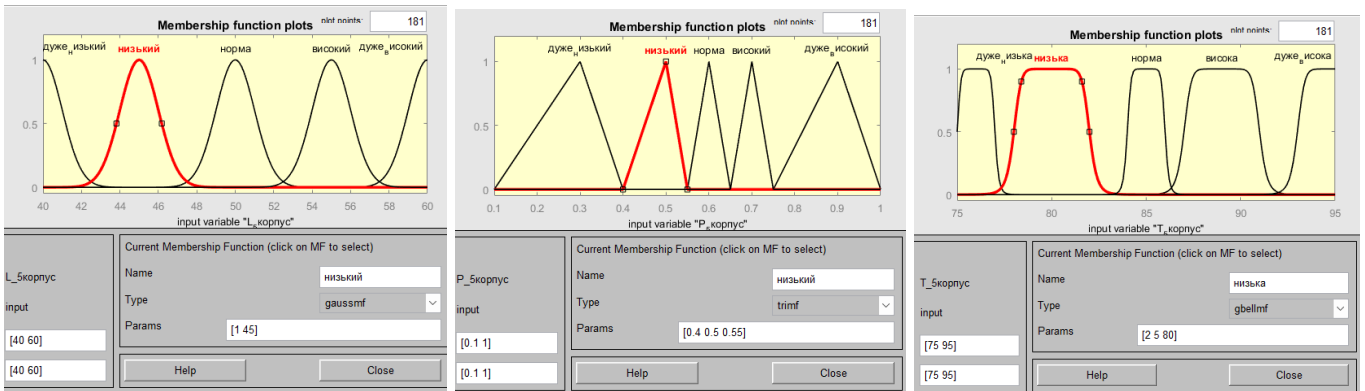


Рис.4.4.22. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в V корпусі
«низкий/низкая»

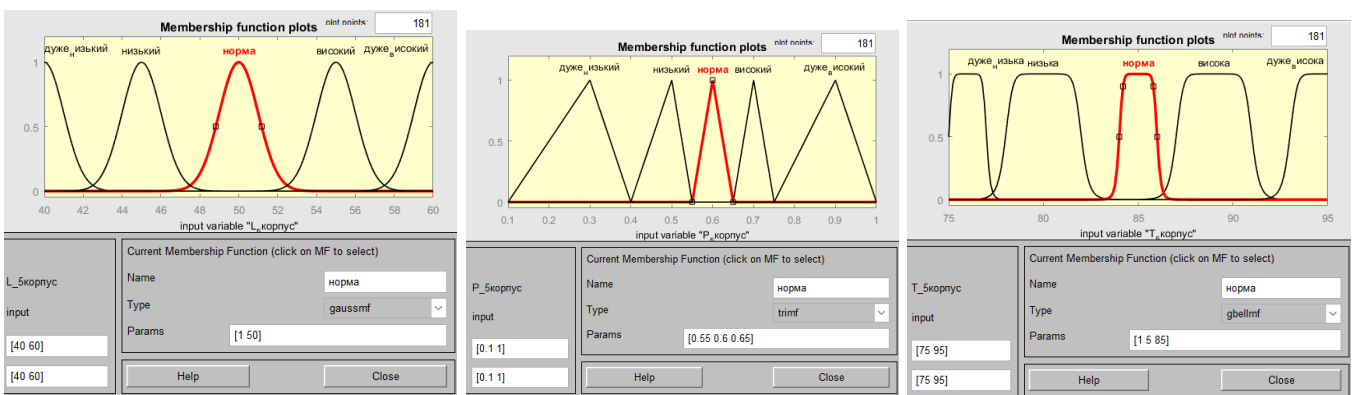


Рис.4.4.23. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в V корпусі
«норма»



Рис.4.4.24. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в V корпусі
«высокий/высокая»



Рис.4.4.25. Лінгвістична змінна рівня, тиску та температури в V корпусі
«дуже високий/дуже висока»

Лінгвістична апроксимація густини дифузійного соку, який отримується після випарної станції також відображена за рахунок гаусівської (gaussmf) функцію належності.

Для цього ч використав такі параметри:

Густина дифузійного соку при виході з останнього корпусу випарної установки

- Дуже низкий – параметри функції належності [1 55] (рис. 4.4.26.)
- Низкий - параметри функції належності [1 60]. (рис. 4.4.27.)
- Норма - параметри функції належності [1 65]. (рис. 4.4.28.)
- Високий- параметри функції належності [1 70]. (рис. 4.4.29.)
- Дуже високий - параметри функції належності [1 74]. (рис. 4.4.30.).

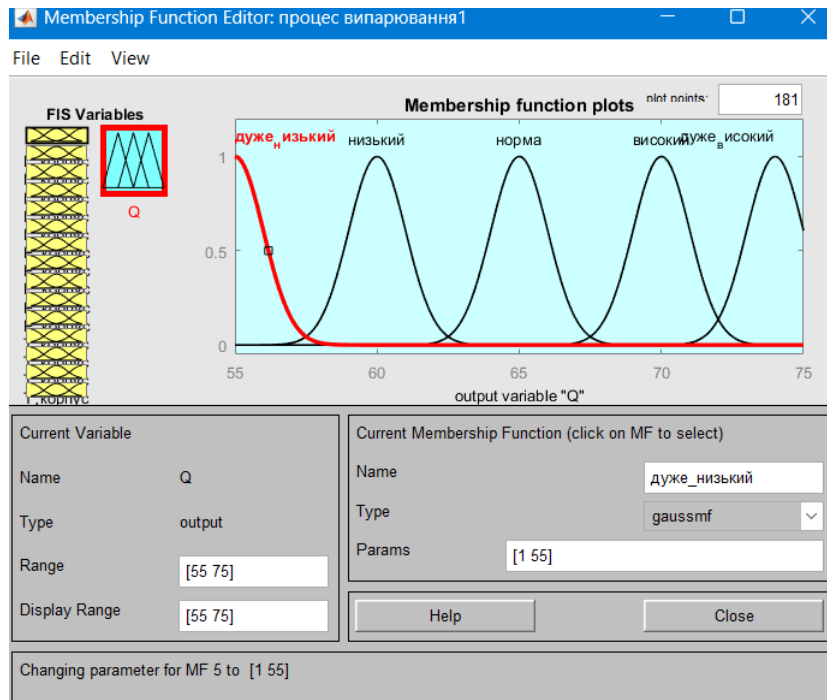


Рис.4.4.26. Лінгвістична змінна густини дифузійного соку при виході з останнього корпусу випарної установки «дуже низький»

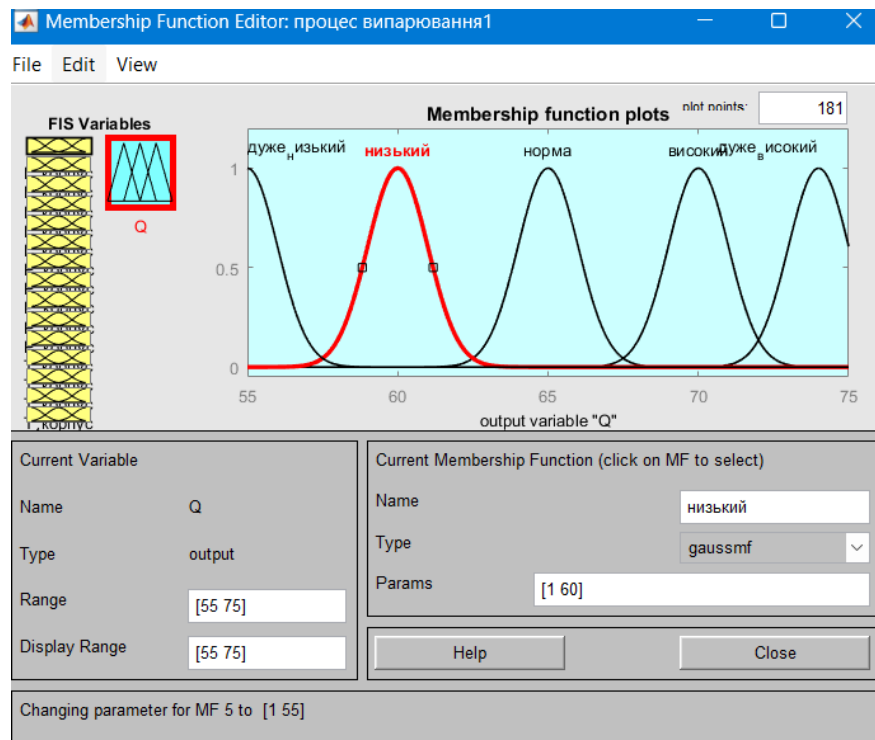


Рис.4.4.27. Лінгвістична змінна густини дифузійного соку при виході з останнього корпусу випарної установки «низький»

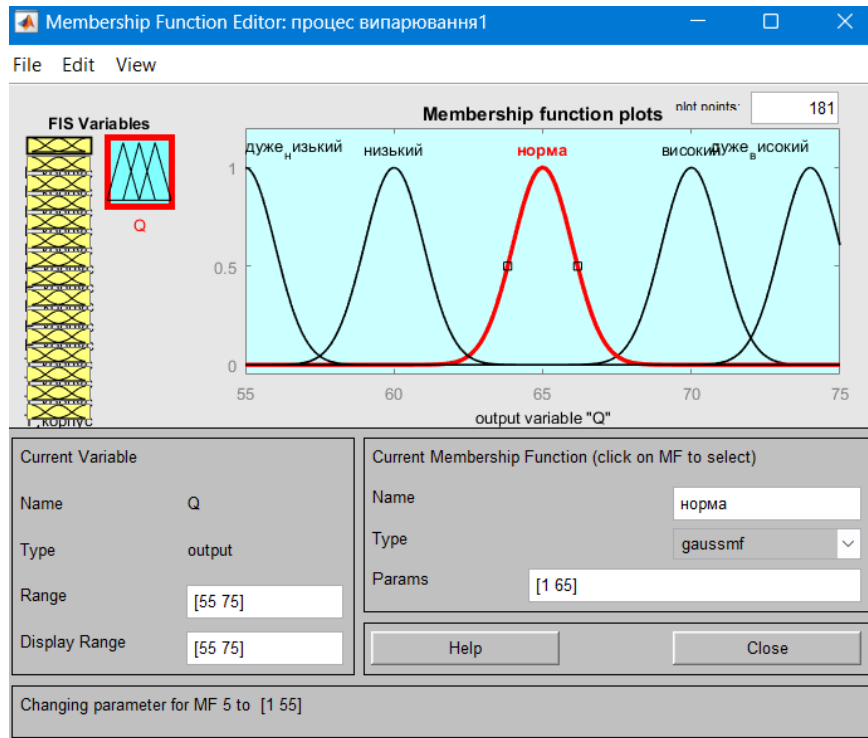


Рис.4.4.28. Лінгвістична змінна густини дифузійного соку при виході з останнього корпусу випарної установки «норма»

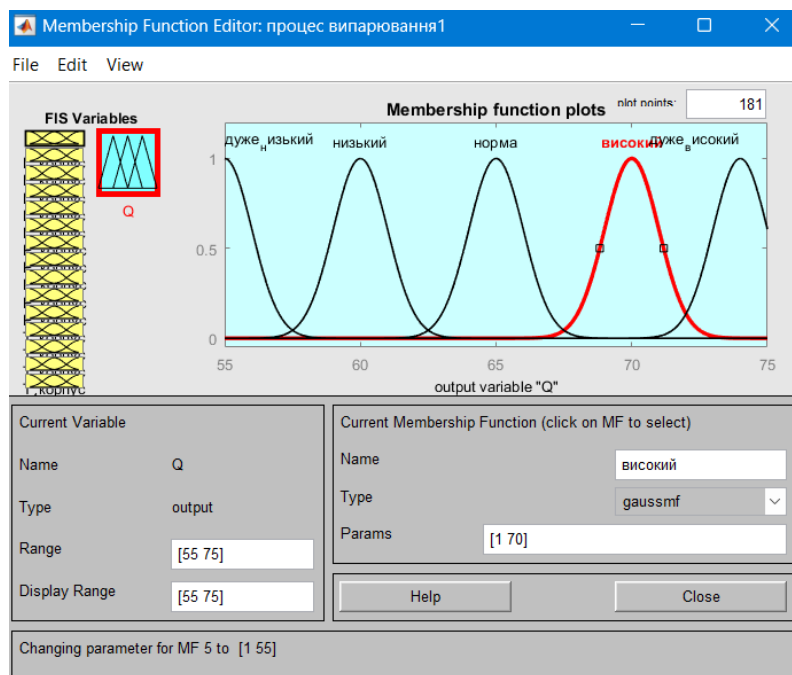


Рис.4.4.29. Лінгвістична змінна густини дифузійного соку при виході з останнього корпусу випарної установки «високий»

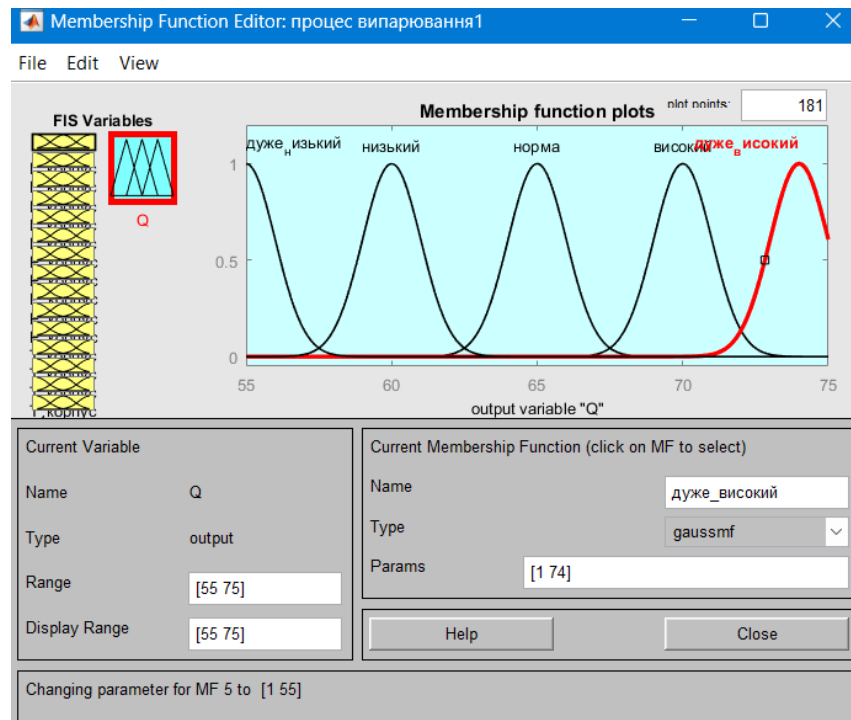


Рис.4.4.30. Лінгвістична змінна густини дифузійного соку при виході з останнього корпусу випарної установки «дуже високий»

Інтелектуальна система управління якістю процесом випарювання дифузійного соку працює за рахунок нечіткої бази знань для реалізації алгоритмів нечіткого логічного виводу.

Нечіткий рівень розуміння та опису складної системи виражається у вигляді певного набору обмежень на виході за певних умов на входах. Обмеження моделюються, як правило, нечіткими множинами та взаємозв'язками, такими як "і", "або", "то". Оскільки правил зазвичай багато, вони згруповані в набір, який називається базою правил.

Нижче наведені база правил, які використовуються в роботі.

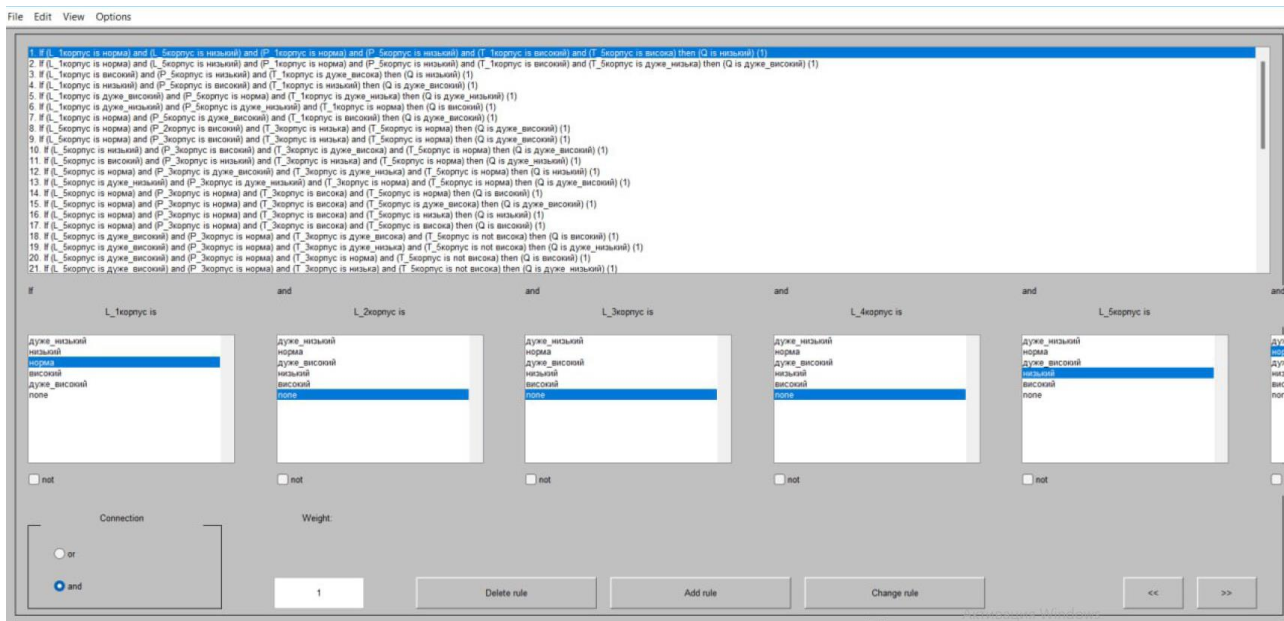


Рис.4.4.31. База правил управління якістю процесом випарювання

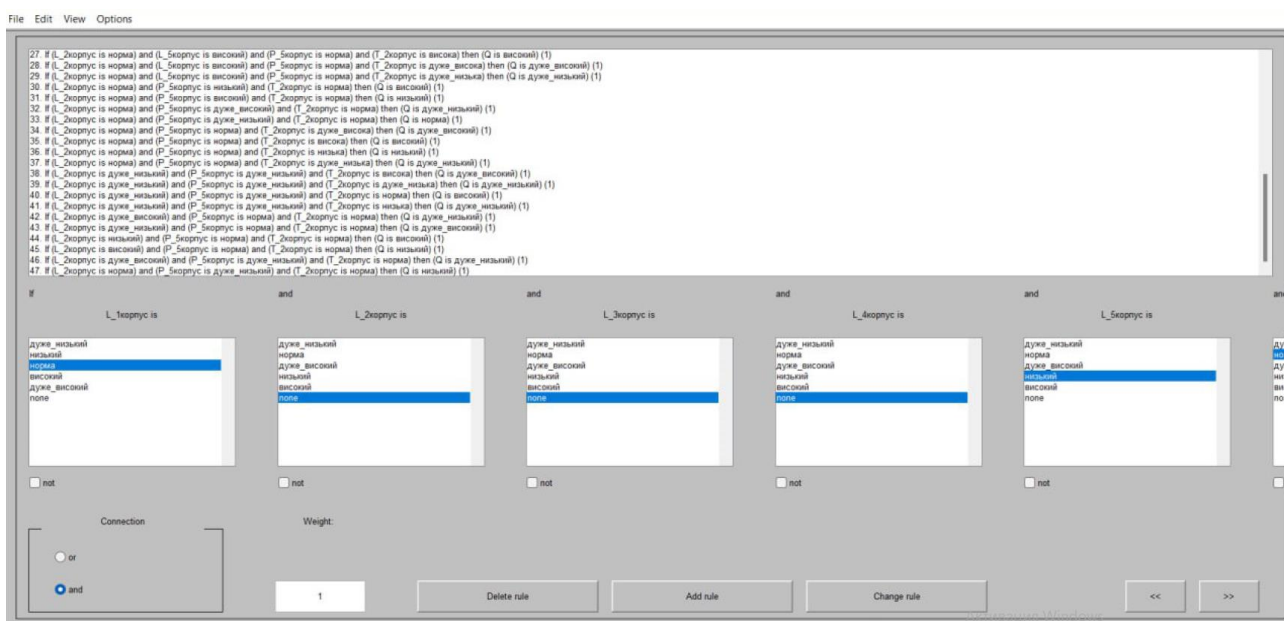


Рис.4.4.32. База правил управління якістю процесом випарювання

Для перевірки нечіткої системи у середовищі Matlab я використав інструменти Rule Viewer та Surface Viewer.

Наступним кроком у роботі я виконав акумулювання висновків продукційних нечітких правил. Акумуляція або акумулювання в системах з нечіткою логікою -

це метод або процес пошуку функції належності для кожної з вихідних лінгвістичних змінних множини. Її метою є поєднання або акумулювання всіх ступенів істинності висновків для отримання функції належності кожної з вихідних змінних. Необхідність виконання даного етапу є те, що висновки, які стосуються однієї і тієї ж лінгвістичної змінної виходу, належать до різних правил системи нечіткого висновку. За допомогою інструменту Surface Viewer можна побачити результат процесу акумулювання.

Візуалізація поверхні “вхід-вихід” здійснюється за допомогою GUI-модуля Surface Viewer. Цей модуль дозволяє вивести графічне зображення залежності значення будь-якої вихідної змінної від довільних двох (або однієї) вхідних змінних.

Меню X (input), Y (input), Z (output) дозволяють поставити у відповідність осям координат вхідні й вихідні змінні. При цьому вхідні змінні можуть відображатися тільки по осях X й Y, а вихідні змінні тільки по осі Z.

Таким чином нижче представлені Surface Viewer у різних варіаціях.

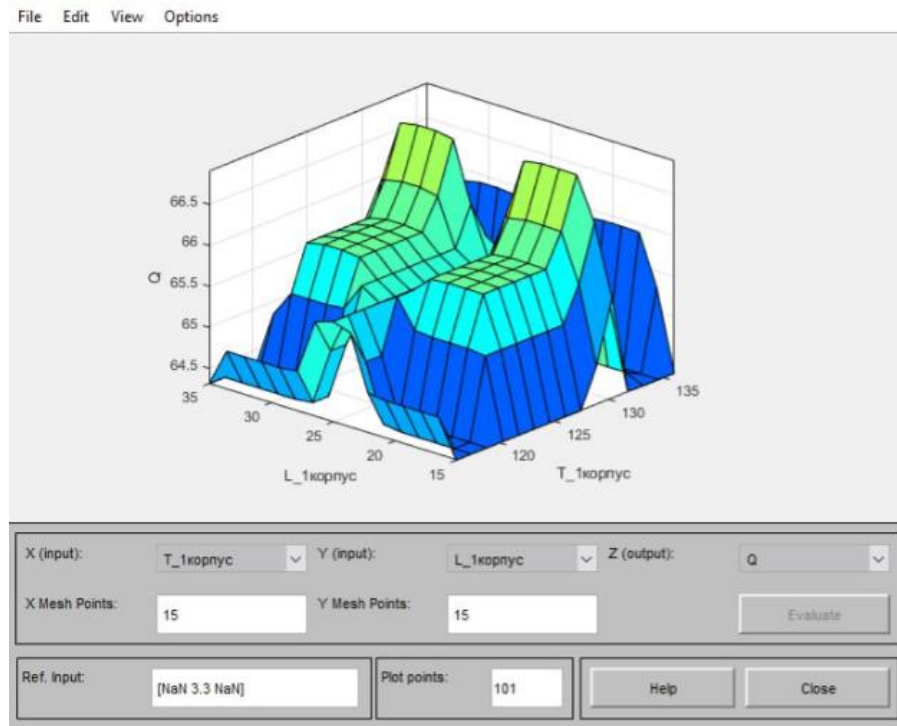


Рис.4.4.32. Поверхня відгуків залежності температури та рівня в I корпусі

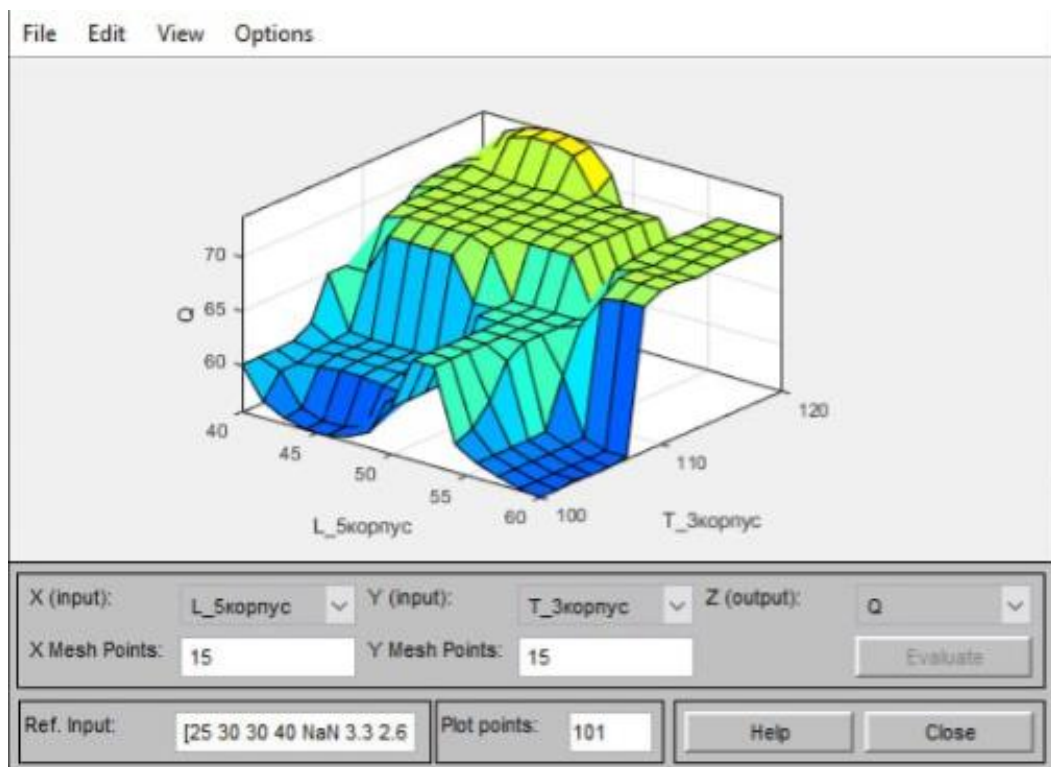


Рис.4.4.33. Поверхня відгуків залежності рівня в V корпусі та температури в III корпусі

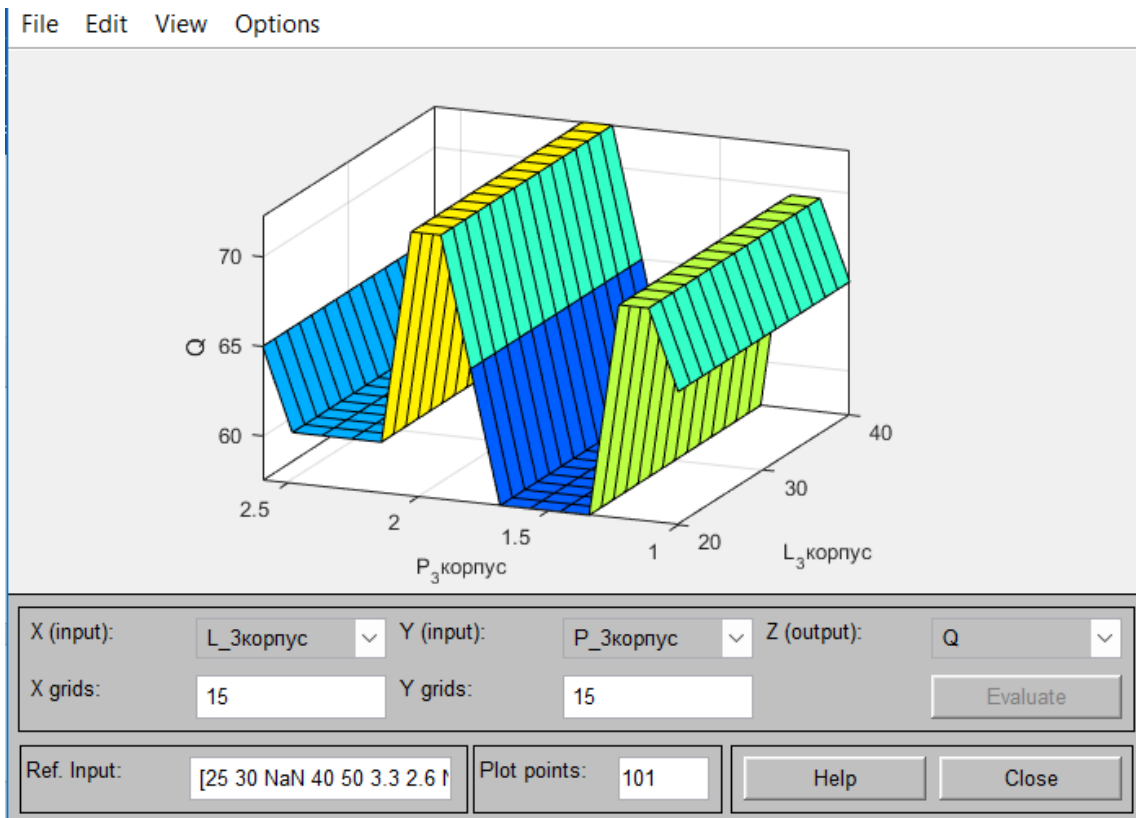


Рис.4.4.34. Поверхня відгуків залежності рівня та тиску в III корпусі

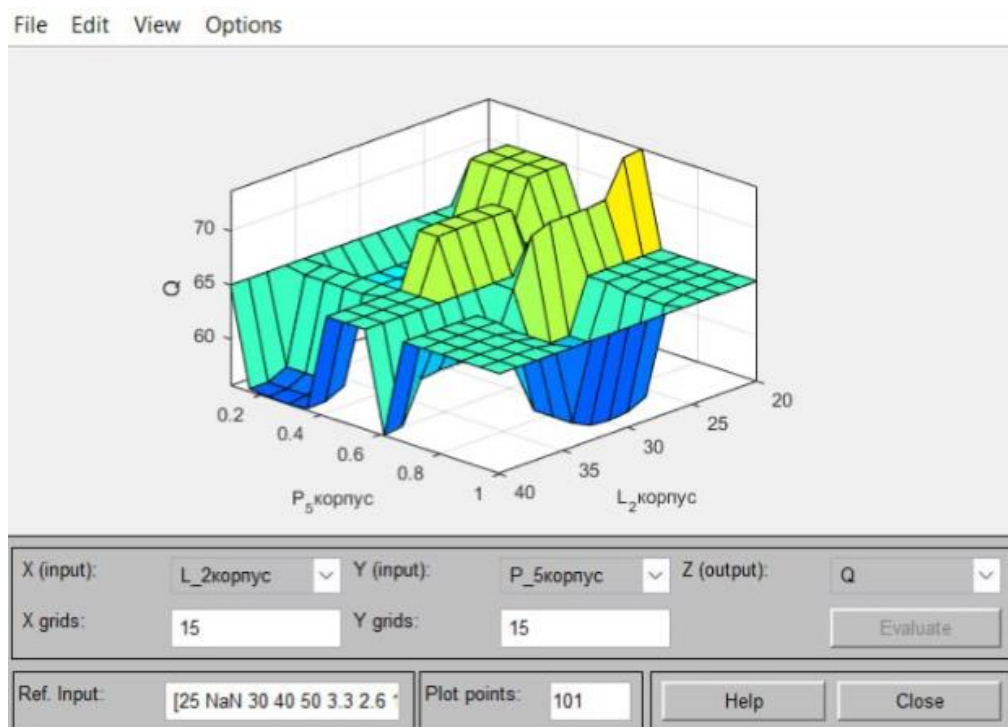


Рис.4.4.35. Поверхня відгуків залежності рівня в II корпусі та тиску в V корпусі

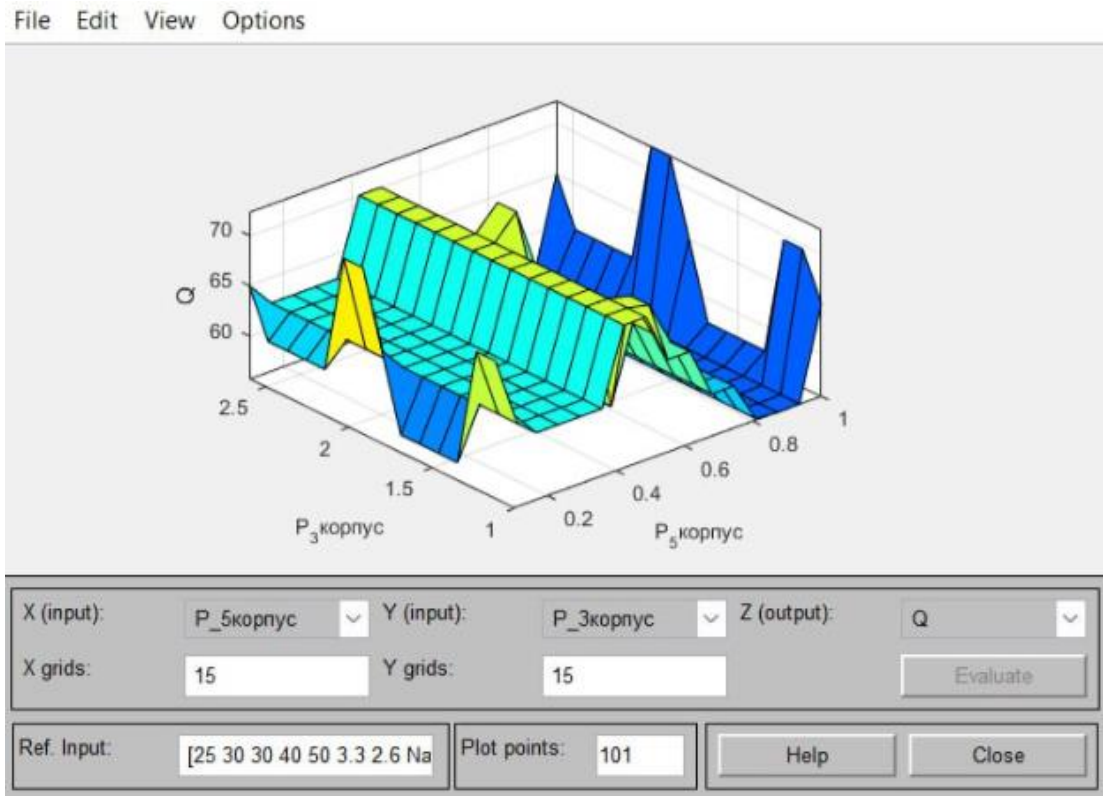


Рис.4.4.36. Поверхня відгуків залежності тиску в V корпусі та тиску в III корпусі

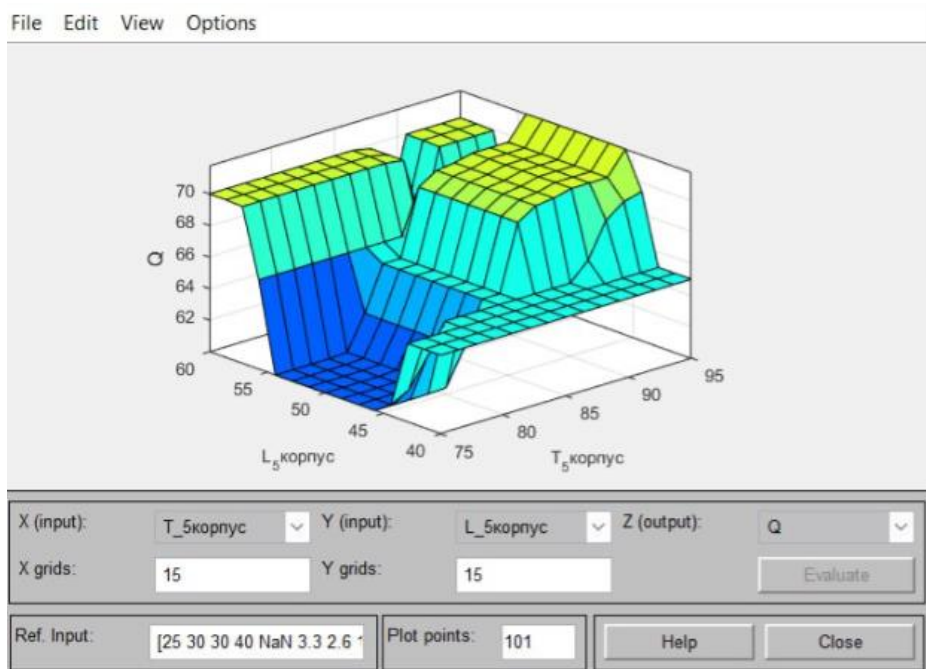


Рис.4.4.37. Поверхня відгуків залежності температури та рівня в V корпусі

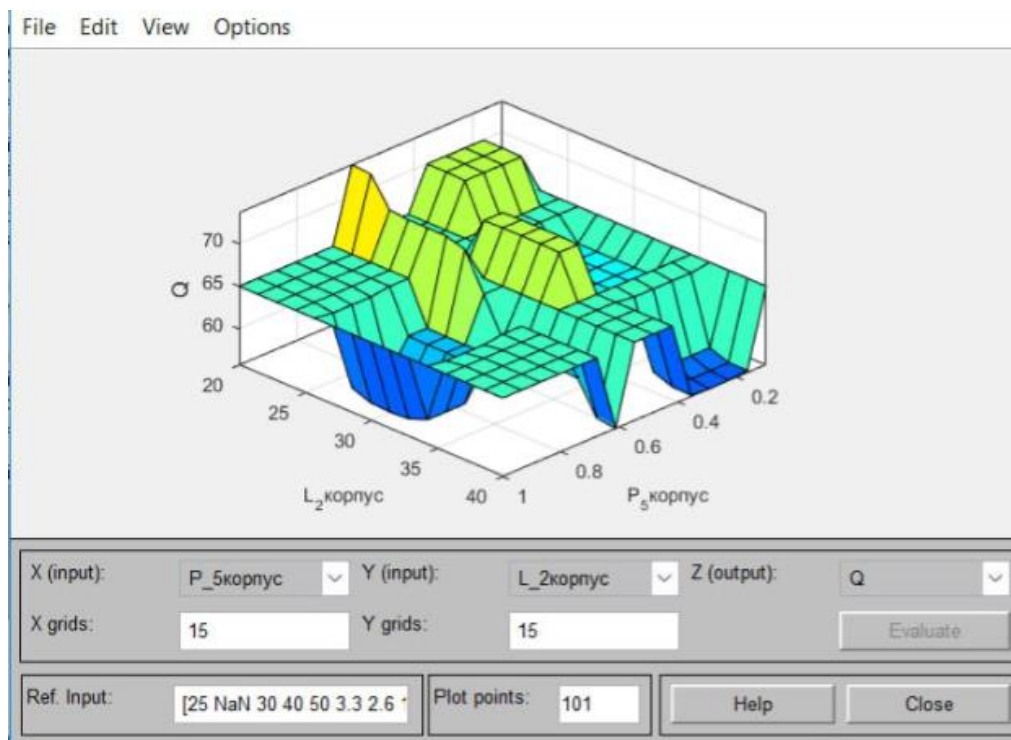


Рис.4.4.38. Поверхня відгуків залежності тиску в V корпусі та рівня в II корпусі

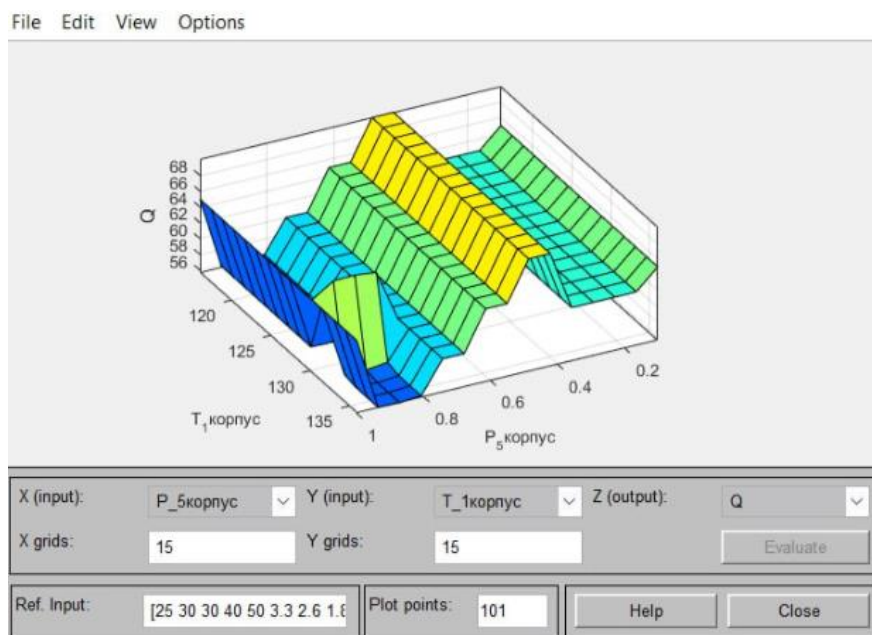


Рис.4.4.39. Поверхня відгуків залежності тиску в V корпусі та температури в I корпусі

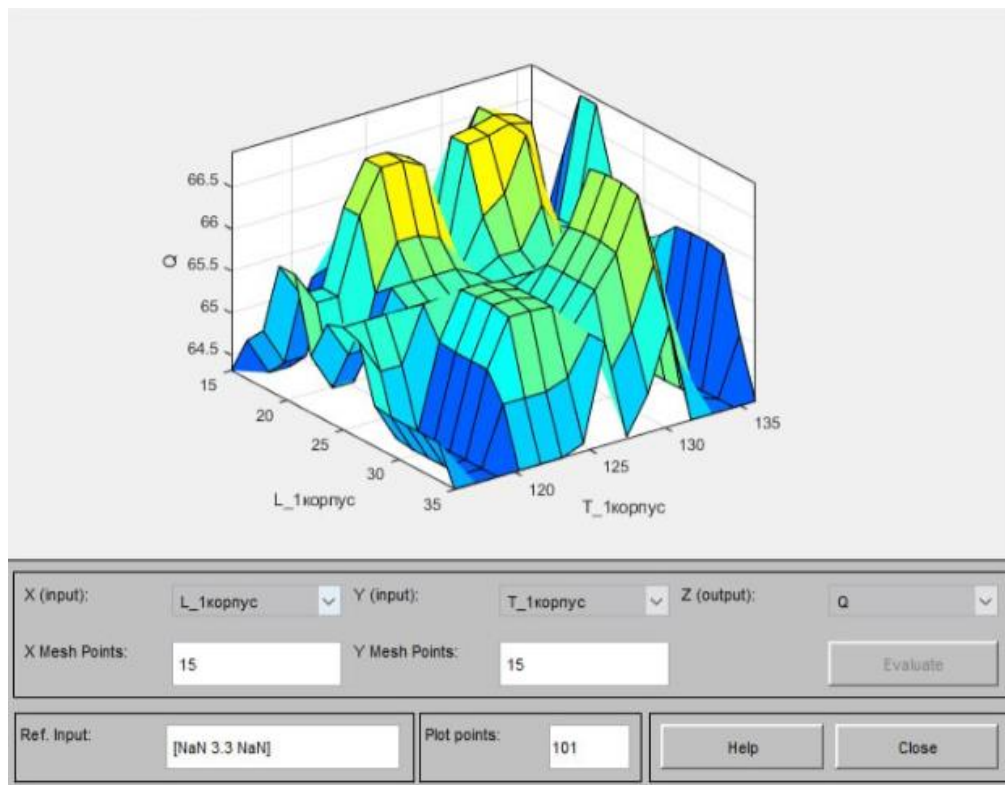


Рис.4.4.40. Поверхня відгуків залежності рівня та температури в I корпусі

За допомогою Rule Viewer можна побачити агрегування нечіткої системи. Агрегування - це процедура визначення ступеня істинності умов згідно з кожним із правил системи нечіткої системи. На рисунку, котрий зображено нижче, зображено числові результати входів та виходу нечіткої системи відповідно до роботи створених правил.

Візуалізація нечіткого логічного висновку здійснюється за допомогою GUI-модуля Rule Viewer. Цей модуль дозволяє проілюструвати хід логічного висновку за кожним правилом, одержання результуючої нечіткої безлічі й виконання процедури дефазифікації.

Так як даний алгоритм є багатопараметричний, так як комплекс випарної станції є складною установкою, то функціонування створених правил

інтелектуальної системи керування зображуються у вигляді, котрий зображений нижче.

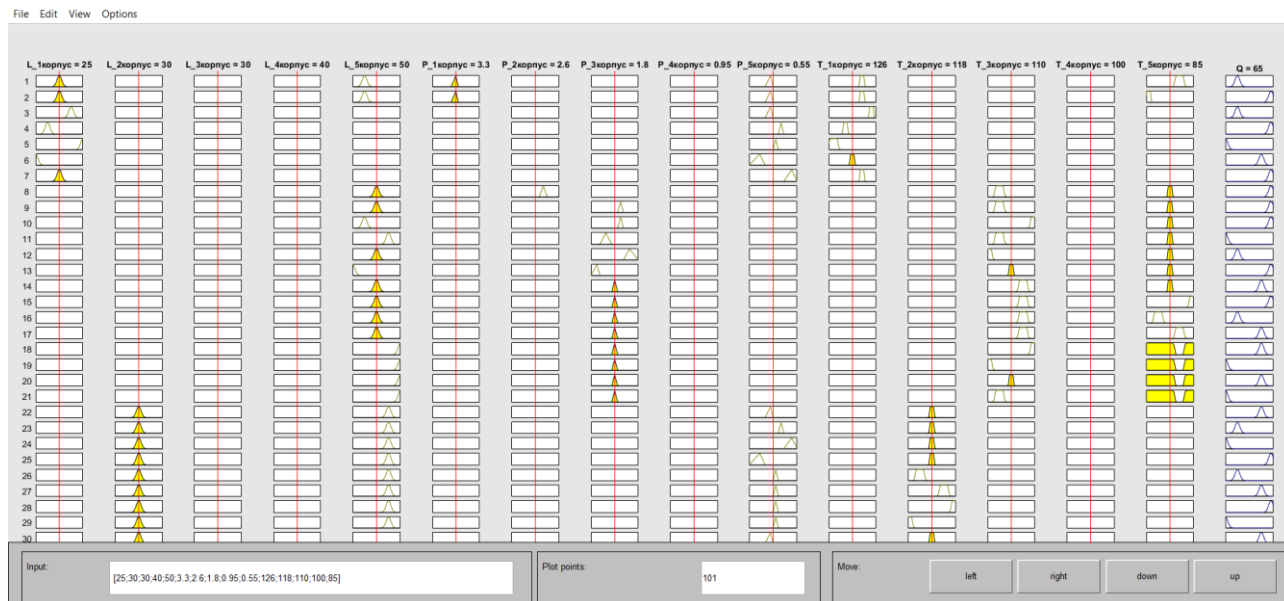


Рис.4.4.40. Поверхня відгуків залежності рівня та температури в I корпусі

Отож, у результаті проведення аналізу процесу створення інтелектуальної системи управління якістю процесом випарювання дифузійного соку на п'ятикорпусній випарній установці було показано результати функцій агрегування та акумулювання. Згідно з отриманими результатами зроблено висновок що розроблена система працює згідно до встановлених вимог та розробленої бази продуктивних правил.

Висновок

Автоматизація випарної станції є актуальним та важливим напрямком в розвитку цукрового виробництва.

У рамках кваліфікаційної роботи була розроблена система автоматизованого управління технічним комплексом цукрового заводу з включеною підсистемою випарних апаратів.

Впровадження автоматизації випарної станції сприяє значній економії теплової та електричної енергії, що відображається в контексті впливу на технологічні, енергетичні, та економічні показники функціонування заводу.

Автоматизація допомагає досягти вищого рівня стабільності та якості виробленого цукру, оскільки системи керування можуть більш точно регулювати процеси випарювання.

Автоматичні системи спрощують рутинні операції та забезпечують ефективну координацію процесів, що призводить до підвищення загальної продуктивності випарної станції.

Впровадження автоматизації випарної станції свідчить про прагнення впроваджувати та використовувати інноваційні підходи та технології для оптимізації виробничих процесів, удосконалення виробничих методів та забезпечення підвищення конкурентоспроможності.

З врахуванням трендів у розвитку автоматизації та інтернету речей, випарна станція стає однією з ключових ланок у цілісній системі управління цукровим заводом, що відкриває нові перспективи для оптимізації та моніторингу всього виробничого процесу.

Результати дослідження та впровадження системи автоматичного керування випарною станцією підтверджують її високу ефективність, зокрема у збільшенні продуктивності, зниженні витрат енергії та покращенні якості виробленого цукру.

Розроблена система не лише висвітлює теоретичні аспекти автоматизації, але й надає практичні рекомендації для впровадження аналогічних рішень на реальних цукрових заводах.

Здобуті результати розглядаються як важлива платформа для подальших досліджень та розвитку автоматизації випарних станцій. Підкреслюються перспективи застосування новітніх технологій та вдосконалення систем управління в цукровому виробництві.

Список використаної літератури

- 1) Ладанюк А. П. Управління випарною станцією цукрового заводу в складі теплоенергетичного комплексу / А. П. Ладанюк, О. В. Школьна // Автоматика – 2015 : матеріали XXII Міжнародної конференції з автоматичного управління Одеса, 10-11 вересня 2015 р. - Одеса, 2015. - Секція 2. Управління та ідентифікація в умовах невизначеності. – С. 97-98.
- 2) Школьна, О. В. Можливості підвищення ефективності управління випарною установкою цукрового заводу / О. В. Школьна // Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції, 27 лист. 2014 р.– К. : НУХТ. – 2014. – С. 114.
- 3) https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/29492/1/Tezy%20dop.%20Mizhnar.%20nauk._prakt.%20konf.%2019.05.2011%20r_1-12.pdf
- 4) Школьна, О. В. Прогнозування динаміки споживання вторинної пари з випарної установки / О. В. Школьна, В. Д. Кишенько, А. П. Ладанюк // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2016. – № 50. – С. 127-132.
- 5) <http://dspace.nuft.edu.ua/bitstream/123456789/28355/1/evaporating%20installations.pdf>
- 6) Коротинський, О.В. Цукрова галузь України / О.В.Коротинський // Вісник цукровиків України.-2014.-№12(103). - С. 9-12.
- 7) Филоненко, В. Н. Электроэнергия собственной выработки ТЭЦ сахарного завода: проблемы и решения / В. Н. Филоненко, Д. Н. Цыганков // САХАР. – 2013. – № 6.-С. 81-85.
- 8) Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування. – Київ.: Навчальний посібник, Аграрна освіта, 2010 – 245 с
- 9) <https://oaji.net/articles/2017/1004-1497516749.pdf>

- 10) <https://me.gov.ua/News/Detail?lang=uk-UA&id=8167683e-4087-44ac-bea5-7d119b012603&title=VUkrainiStartuvavSezonTsukrovarinnia&showMenuTree=true>
- 11) http://dspace.nuft.edu.ua/bitstream/123456789/4007/1/Pupena_98.pdf
- 12) Меньков А.В. Теоретические основы автоматизированного управления / А.В. Меньков, В.А. Острейковский. □ Учебник для вузов. □ М.: Издательство Оникс, 2005. – 640 с.
- 13) Василенко, С. М. Економія енергоресурсів на цукрових заводах / С. М. Василенко, К. О. Штангеев // Цукор України. – 2010. – №1 (57). – С.40-43.
- 14) Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічний об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтег. технології/ М. В. Лукінюк. - К.: НТУУ «КПІ», 2008. - 236 с.
- 15) MESA International [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: www.mesa.org
- 16) Харазов В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами. □ СПб.: Профессия, 2009. □ 592 с.
- 17) Цукор білий. Технічні умови : ДСТУ 4623:2006. Чинний від 2007-07-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 14 с. (Національний стандарт України).
- 18) Береза А. М. Основи створення інформаційних систем: навч. посіб. / А. М. Береза. - 2 вид., перероб. і доп. – К.: КНЕУ, 2001. – 214 с.
- 19) Основи інформаційних систем: Навч. посібник. – Вид. 2-ге, перероб. і доп. / В. Ф. Ситник, Т. А. Писаревська, Н. В. Єрьоміна, О. С. Краєва; За ред. В. Ф. Ситника. —К.: КНЕУ, 2001. — 420 с.
- 20) ДСТУ 2226-93 Автоматизовані системи. Терміни та визначення. □ К.: УкрНДІССІ, 1994. □ 92 с
- 21) <file:///D:/User%20Folder/a.zhurakovskaya/Downloads/2689-9391-1-PB.pdf>

- 22) International Society of Automation [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: www.isa.org.
- 23) Системний аналіз складних систем керування: Навч. посіб. / А. П. Ладанюк, Я. В. Смітюх, Л. О. Власенко, Н. А. Заєць, І. В. Ельперін. – К.: НУХТ, 2013. – 274 с.
- 24) Пупена О. М. Інтеграція систем управління / О. М. Пупена, І. В. Ельперін. //Харчова і переробна промисловість. – 2005. – №1. – С. 9–11.
- 25) Manufacturing Execution Systems – MES / [J. Kletti, V. Berres, O. Brauckmann та ін.]. - New York: Springer Berlin Heidelberg, 2007. – 276 с
- 26) ГОСТ 24.104-85 Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования. □ М.: ИПК Стандартов, 2002. □ 14с.
- 27) Уліцька, О. О. Автоматизація процесів керування багатокорпусною випарною установкою в виробництві цукру: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07 / Уліцька Олена Олегівна. – Одес. нац. політехн. ун-т. – О., 2012. – 170 с.
- 28) <https://www.kws.com/ua/uk/produkty/tsukroviburyaku/novyny/vyrobnytstvo-tsukru-v-ukrayini-shlyah-buryakovoyi-nasinyny-dosolodkogo-krystalu/>
- 29) Школьна, О. В. Сучасні методи управління випарною установкою / О. В. Школьна // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті : 81 міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів, 23 – 24 квітня 2015 р. – К.: НУХТ, 2015. – Ч. 2. – С. 312.
- 30) Ицкович Э. Л. . Методы комплексной автоматизации производства предприятий технологических отраслей: Построение MES Контроль и учет работы производства Сведение материального баланса Календарное планирование Оперативное управление Обслуживание и ремонт оборудования Авто / Э. Л. Ицкович. – Москва: КРАСАНД, 2013. – 232с.
- 31) Кваско, М.З. Оптимальное управление выпарными установками / М.З. Кваско, А.И. Жученко. – К. : УМК ВО, 1992. – 160 с.

- 32) Доронін А. В. Ефективність виробництва цукрових буряків та цукру в Україні / А. В. Доронін // Сталий розвиток економіки. – 2013. – № 3. – С. 51–55.
- 33) Каталог та документація Schneider Electric. <https://www.se.com/ua/ru/>
- 34) Школьна, О. В. Формалізація процесу функціонування випарної установки в складі теплоенергетичного комплексу / О. В. Школьна // Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами : матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції, 25 листопада 2015 р. – К. : НУХТ, 2015. – С. 103-104.
- 35) Жуковский Э.И. Реализация задачи оценивания показателей работы завода в АСУТП сахарного производства/ Э.И. Жуковский, Ю.М. Скаковский, В.Д. Витвицкий, А.В. Бабков // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. –Одесса: 2010 – №3.– С.16–26.
- 36) Автоматизація виробничих процесів: підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К. : Видавництво Ліра-К, 2015. —378 с.
- 37) Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: навч. посібник / В.Г. Трегуб. – К.: Ліра-К, 2014.
- 38) Ладанюк А.П. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами: навчальний посібник / А.П. Ладанюк, Архангельська К.С., Власенко Л.О.— К.: НУХТ, 2014. —274 с
- 39) Пупена О. М. Програмування промислових контролерів у середовищі UnityPro: навчальний посібник / О. М. Пупена, І. В. Ельперін. — Київ : Ліра К, 2015. — 376 с.
- 40) Системний аналіз складних систем управління. Практикум. [Текст]: навчальний посібник / А.П. Ладанюк, Я.В. Смітюх, Л.О. Власенко, Н.А. Заєць, І.В. Ельперін. – К.: НУХТ, 2014. – 157 с. (№37.49 - 02.07.2014)
- 41) 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.

42) Методичні рекомендації до виконання випускної кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Комп'ютерні технології та програмування в автоматизованих системах управління» денної та заочної форм навчання / Уклад.: О.М. Пупена, І.В. Ельперін, В.Г. Трегуб.[Електронний ресурс]. - К. : НУХТ, 2019. – 37 с.