

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Факультет автоматизації і комп'ютерних систем
Кафедра автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління**

«До захисту в ЕК»
Декан факультету
_____ Андрій ФОРСЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 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 очистки дифузійного соку

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

_____ Жураківська Анастасія Аркадіївна _____
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник _____ Ладанюк Анатолій Петрович _____
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

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

_____ (ім'я та прізвище) (підпис)

_____ (ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент _____ Грибков С.В. _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

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

Здобувач _____
(підпис)

Київ - 2023р.

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 Ярослав Смітюх

“ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Жураківської Анастасії Аркадіївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизована система управління технологічним комплексом цукрового заводу з підсистемою очистки дифузійного соку

керівник роботи Ладанюк Анатолій Петрович д.т.н., професор

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “16” листопада 2022 року № 820-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 1 лютого 2023 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 необхідності та перспектив впровадження стандартів в Україні. 1.4. Аналіз горизонтальної та вертикальної інтеграції. 1.5. Аналіз існуючих автоматизованих систем управління підсистемою очищення дифузійного соку на цукрових заводах України. 1.6. Постановка задачі. 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. Опис інформаційного 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. Розширені схеми підключення для окремого контуру. 3.5. 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 (алгоритм та програма для ПЛК). 4.2. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога. 4.3. Комп'ютерне моделювання системи автоматичного регулювання. 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 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач

_____ (підпис)

Жураківська А.А.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Ладанюк А.П.

_____ (прізвище та ініціали)

Анотація

Кваліфікаційна робота являє собою розробку автоматизованої системи управління технологічним комплексом цукрового заводу з підсистемою очистки дифузійного соку.

В даному проекті було розроблено технічна документація, котра включає в себе наступне: загальний опис об'єкта та системи; функціональну структурну системи; опис загальної ієрархічної моделі обладнання; опис функцій, що автоматизуються; вибір технічних засобів для вимірювання, виконавчих механізмів та регулюючих органів; опис інформаційного забезпечення АСУТП виробництва та основного відділення.

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

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 розроблемо в програмі Citect Studio.

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

Ключові слова: цукровий завод, переддефекація, холодна та гаряча дефекація, сатурація, очистка дифузійного соку, 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 diffusion juice purification subsystem.

In this project, technical documentation was developed, which includes the following: a general description of the object and system; functional structural system; description of the general hierarchical model of the equipment; description of automated functions; selection of technical means for measurement, executive mechanisms and regulatory bodies; description of the information support of the production control system and the main department.

An automation scheme has now been developed; layout diagram and specification of PLC modules; electrical schematic diagram of measuring, control and signaling circuits; connection diagram and wiring of industrial networks; structural diagram of a complex of technical means.

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 PI controller and comparison with the use of a fuzzy controller.

Key words: sugar factory, pre-defecation, cold and hot defecation, saturation, diffusion juice purification, Citect Studio, Modicon M340, controller.

Зміст

Вступ.....	8
Розділ 1. Аналітичний огляд літератури та використовувани методи при побудові систем управління.....	10
1.1. Аналіз проблем та перспектив розвитку цукрової галузі в Україні.....	10
1.2. Аналіз загальної характеристики автоматизованих систем управління та її частин.....	13
1.3. Аналіз необхідності та перспектив впровадження стандартів в Україні.....	23
1.4. Аналіз горизонтальної та вертикальної інтеграції.....	25
1.5. Аналіз існуючих автоматизованих систем управління підсистемою очищення дифузійного соку на цукрових заводах України.....	30
1.6. Постановка задачі.....	36
Розділ 2. Загальносистемні рішення.....	37
2.1. Загальний опис об'єкту та системи.....	37
2.2. Розробка загальної ієрархічної моделі обладнання.....	58
2.3. Функціональна структурна схема.....	62
2.4. Опис функцій, що автоматизуються.....	64
2.5. Структурна схема комплексу технічних засобів.....	66
2.6. Опис інформаційного забезпечення АСУ ТП виробництва та основного відділення.....	69
Розділ 3. Розробка підсистеми управління технологічним процесом (обладнанням).....	71
3.1. Схема автоматизації та специфікація засобів автоматизації польового рівня.....	71

3.2. Обґрунтування вибору технічних засобів для вимірювання, виконавчих механізмів (ВМ) та регулюючих органів (РО).....	77
3.3. Схеми електричні принципові контурів вимірювання, управління та сигналізації	111
3.4. Розширені схеми підключення для окремого контуру	112
3.5. Схема з'єднання та підключення проводок промислових мереж.....	115
3.6. Схема компонування та специфікація модулів ПЛК	117
Розділ 4. Спеціальне завдання	125
4.1. Опис спеціального програмного забезпечення для мікропроцесорного контролера (алгоритм та програма для ПЛК)	125
4.2. Розробка людино-машинного інтерфайсу оператора технолога	144
4.3. Комп'ютерне моделювання системи автоматичного регулювання.....	149
Висновок.....	163
Список використаної літератури	165

Вступ

Цукор являється одним з головних ресурсів для буденного життя практично будь-якої людини. У світі існує багато технологій з виробництва цукру і кожна з цих технологій відрізняється по-своєму.

Підвищення результативності праці на цукрових заводах, ріст нових технологій, спрямованих на покращення якості та ефективності виробництва, потребують модернізації та поліпшення систем управління на підґрунті нових засобів автоматизації.

На теперішній фазі прогресу виробництва цукру, впливаючи з неперервності технологічного процесу із застосуванням головного безперервно працюючих устаткування, є певна необхідність для вдосконалення всієї існуючої системи. А втім, присутність механічних включень, осаду та накипу, утворення піни та багато інших особливостей, також надмірна вологість та висока температура докільля ускладнюють цьому процесу покращення. Саме тому необхідно створювати спеціальні засоби автоматизації, особливо звертати увагу на пристрої контролю та управління. Також не забувати про властивості та характеристики проміжних продуктів та самої готової продукції.

Автоматизація процесу виробництва цукру дає якісну та результативну роботу технологічних платформ тільки у випадку комплексного ставлення до вирішення даної проблеми. При такому підході слід добре налаштуватися до автоматизації технологічного обладнання, технологій та підбору необхідних засобів автоматизації.

Згідно цьому першочергове значення має спеціалізація виробництва, яка окреслює виробництво виробів одного типу в обмеженому діапазоні, що уменшує кількість налаштувань технологічного процесу, а відповідно і налаштування систем автоматизації.

Опрацьована автоматизована схема управління технологічним комплексом цукрового заводу з підсистемою очистки дифузійного соку призначена для вводу системи автоматизації, працездатність якої здійснюється за допомогою мікропроцесорних пристроїв автоматики; автоматизація підсистеми очистки дифузійного соку дає перспективу контролювати всі технологічні та виробничі процеси без задіяння людини; за сприянням новітніх систем автоматизації зростає безпека на підприємстві; модернізація технологічної дисципліни за допомогою безперервного контролю за додержанням технологічних норм та вивчення подій параметрів за абиякий проміжок часу; об'легшення роботи працюючих робітників.

За мету цієї роботи взято розробку системи автоматизації очищення дифузійного соку, а саме демонстрація та реалізація контролю та регулювання основних параметрів, утримання їх на допустимому рівня, надання безперервної роботи, очікування та миттєвого реагування на критичні події, поліпшуючи економічне становище та скорочуючи кількісну потребу втручання людини у процес виробництва.

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

1.1. Аналіз проблем та перспектив розвитку цукрової галузі в Україні

Цукрова галузь відноситься до тих галузей агропромислового вузла, результативність якої прямою мірою впливає на економічні можливості України. Варто звернути увагу, що цукрові буряки постійно були і наразі залишаються економічно прибутковою та цікавою технічною культурою. Але виникає проблема з приводу виробництва цукру та збуту готової продукції. Спираючись на це виробники в цій сфері не нехтують можливістю на покращення та стабілізації цукрового виробництва.

Цукробуряковий комплекс представляє собою інтегровану систему, котра складається з великої кількості бурякосійних господарств, цукрових заводів, додаткових та обслуговуючих підприємств.[8]

Істинною проблемою для цукрового виробництва являється занижений рівень спеціалізації новітніх аграрних підприємств, «розпорошеність» посівів, котрі гальмують впровадження інтенсивних технологій виробництва цукрових буряків, особливо це стосується використання високопродуктивних гібридів, котрі негативно позначаються на фінансовий стан сільськогосподарських підприємств. Практика демонструє, що зі збільшенням частки цукрових буряків у будові посівів зростає урожайність і таким чином знижується собівартість. [6]

Підвищення конкурентоспроможності цукробурякового комплексу України може допомогти зменшенню собівартості цукру за рахунок спрощення доступу виробників до цього продукту. Теперішній період є найбільш сприятливий для налаштування продуктивного функціонування цукрової галузі. Це впливає з того, що світова ціна на цукор та інші продовольчі продукти є досить високою, зростання попиту в країнах Азії, ступенева переорганізація виробників цукру на виробництво біоеталону та т.д.

Зазначається, що вирішальним завданням процвітання цукрового комплексу України має бути відновлення та примноження власного виробництва починаючи з цілковитого забезпечення внутрішніх потреб цукрі та закінчуючи експортними поставками. [11]

Якраз буряки, котрі були раніше збитковими, можуть стати першочерговим джерелом грошового припливу у період фінансової скрути. В умовах розгортання проблематики енергозбереження очікуваним є збільшення цін на цукор в наступні декілька років з дефіцитом цукру на світовому ринку.

Головною основою зниження рівня рентабельності цукрового виробництва стало стрімке збільшення цін на матеріально-технічні ресурси та неаргументоване зниження цін на цукрові буряки та цукор. За показниками та даними НАЦУ «Укрцукор» частка палива та енергії в собівартості цукрі складає 33%.

Основні проблеми розвитку цукробурякової галузі на шляхи покращення наслідків зображені в таблиці 1.

Таблиця 1.1. Проблеми розвитку та шляхи подолання

Основні проблеми	Шляхи подолання кризових наслідків
Недостатній рівень інтеграції, слабкі зв'язки між виробниками цукросировини та переробними підприємствами	Створення вертикально-інтеграційних структур виробників сировини та цукрових заводів. Застосування кластерної системи організації виробництва
Низька врожайність та висока собівартість вирощування цукрових буряків	Важливим резервом підвищення врожайності є використання інноваційних розробок, новітніх інтенсивних технологій вирощування цукрового буряку
Недостатнє матеріально-технічне забезпечення цукробурякового господарства	Одним із шляхів для отримання фінансових проектів для покращення матеріально-технічного забезпечення господарств є централізація капіталу в галузі та формування власних цукрових холдингів
Слабкий державний контроль та управління цукробуряковою галуззю	Своєчасне забезпечення проведення реформи всіх галузей цукробурякового виробництва. Використання механізму державної підтримки вітчизняного товаровиробника
Значні фінансові втрати, пов'язані з недосконалими технологіями збору та зберігання врожаю	Контроль системи якості по вирощуванню цукрових буряків з урахуванням інтенсивних технологій

Розглядаючи літературу, багато науковців схиляються до того, що перспективою для цукробурякової галузі держави є кластерна система організації виробництва. Саме як система згруповує зусилля підприємців, суб'єктів інвестиційної та інноваційної діяльності в одному просторі що, встановлює помітні переваги у конкурентній боротьбі, допомагає впровадженню інновацій та раціональній організації постачання, виробництва та збуту, шляхом додержання гнучкої політики, потрібної в умовах сучасної кон'юнктури ринку. [28]

На мою думку, першочерговою метою ринку цукру є надання безперервного та активного процвітання галузевої структури агропромислового комплексу, покращення якості та конкурентоспроможності продукції.

Спираючись на вище сказане, можна визначити, що за кризових умов та в наявному інституційному середовищі результативно розвивається вертикальна інтеграція, котра самостійно забезпечує роботу усього маркетингового ланцюжка починаючи з виробництва цукрового буряку та закінчуючи його реалізацією.

Вертикально інтегровані бізнес-структури (цукрові холдинги) спроможні самостійно постачати собі сировину і не вимагають такого інструменту державної підтримки, як мінімальна ціна на цукровий буряк.

Дуже вагомим резервом покращення урожайності й цукристості буряку є активне застосування інноваційних розробок, новітніх інтенсивних технологій. До прикладу, в Японії буряки практично по всій площі вирощуються розсадним способом. Це впливає з того, що такий спосіб повною мірою здійснюється за умов максимальної механізації трудомістких процесів. [9]

1.2. Аналіз загальної характеристики автоматизованих систем управління та її частин

При будь-якій діяльності людина здійснює певний ряд операційних дій, котрі умовним шляхом поділяються на робочі операції та операції керування.

Заміна людської праці на машини в робочих операціях має назву процесу механізації, а заміна технологічними пристроями в операціях керування – процес автоматизації. Таким чином, якщо всі операції керування реалізуються такими пристроями, то дана система має назву автоматичної, а якщо виконується заміна тільки якоїсь частини, то – автоматизованої. [13]

Нижче можна побачити зображення схеми побудови автоматизованої системи управління виробництвом, скорочено АСУ, яка представлена пірамідою управління.

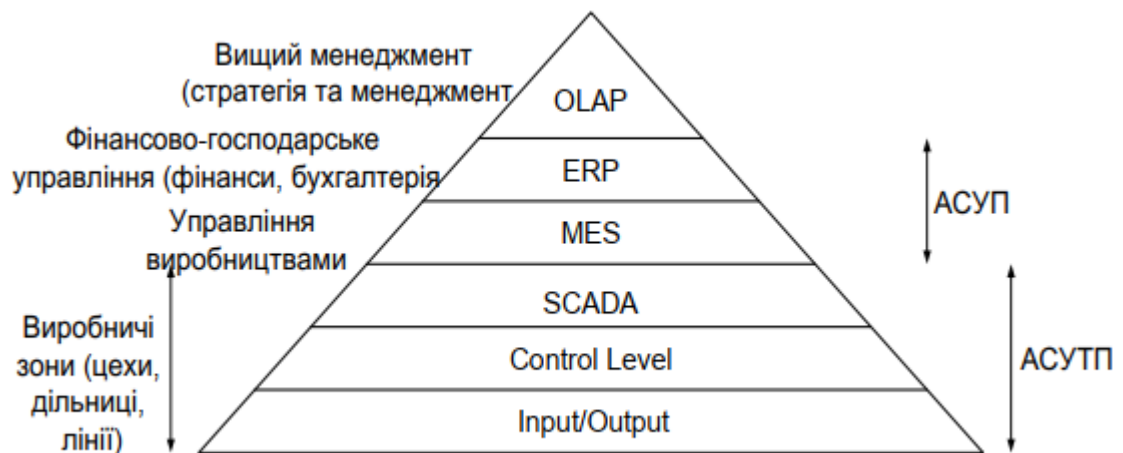


Рис. 1.1 Схема автоматизованою системою управління виробництвом

На даному рисунку позначено наступні елементи:

- 1) АСУ ТП - автоматизована система управління технологічним процесом;
- 2) АСУП – автоматизована система управління підприємством;
- 3) Input/Output – рівень датчиків та виконавчих пристроїв;

- 4) Control Level – рівень систем автоматичного керування (САК) та програмованих логічних контролері (ПЛК) (Programmable Logic Controller (PLC));
- 5) SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – диспетчерське керування та збір даних;
- 6) ERP (Enterprise Resources Planning) – планування ресурсів підприємства. Надає фінансово-господарську діяльність, планування та облік виробництва;
- 7) MES (Manufacturing Execution Systems) – система виробничого виконання (або система управління технологією). Вирішує задачі синхронізації, координації, аналізу та оптимізації випуску продукції. MES оперує виключно виробничою інформацією. Якщо ERP здійснюють перепланування в основному один раз на добу, то MES працює в реальному часі.
- 8) OLAP (Online Analytical Processing) – аналітична обробка в реальному часі. Дана технологія заснована в 1993 році у вигляді дванадцяти законів та надає можливість створювати динамічні звіти, ціллю яких є аналіз баз даних, котрі слугують для створення звітів маркетингу і комплексним керування в цілому.

Автоматизована система управління технологічним процесом АСУТП (Process Control System або Industrial Control System; ICS) – це система, котра за допомогою операторського персоналу надає в реальному часі виробництво та/або переробку продукції за вже заданими технологічними та техніко-економічними критеріями. [14]

Автоматизована система управління технологічним процесом має на меті рішення багатьох задач, а окремо можна виділити наступні:

- Проводити будь-який процес з максимально-прийнятною продуктивністю. Автоматично зважувати модифікацію технологічних параметрів, особливості та

властивості вхідних та вихідних матеріалів, зміну навколишнього середовища та неправильність у діях оператора;

- Керування процесом зважаючи на план і термінологію продукції шляхом результативної дії налагоджування технологічного обладнання;

- Здійснити статистичне керування процесом, котре представлене в реальному часі, за допомогою алгоритмів, а саме адаптивними та екстремальними;

- Реалізувати автоматичне керування процесами, котрі несуть шкоду та небезпеку людині.

На рівнях Control Level і Input/Output здійснюється локальне керування окремими параметри, котрі зазначені в технологічному процесі, та які приймають за основу контролер. Стрімкість на даному рівні складає десятки мікро-секунди і таким чином генерують інформаційний потік, який прямує в гору.

Головним призначенням SCADA є зібрання інформації про перебіг технологічного процесу та оперативне керування. Також вона надає першорядний інформаційний потік в системі реального часу, котрий надходить в автоматизовану систему управління підприємством для утвердження глобальних розв'язань. Стрімкість даного процесу є значно менша, ніж у попередньому рівні.

Допоміжна вартість, котра характеризує дохід підприємства організовується у виробничій зоні, яка перевіряється АСУТП. Таким чином правдива та вчасна інформація дає змогу змінювати фінансові показники підприємства. Як підсумок доходи, котрі утворюються у виробничій зоні володіють умінням посилюватися за рахунок MES.

Автоматизована система управління технологічним процесом розраховано для створення та здійснення керуючої дії на технологічний об'єкт управління (ТОУ).

Технологічний об'єкт управління – це комплекс технологічного обладнання та здійсненого на ньому, співвідносно до регламенту та директиви, технологічного

процесу виробництва. За потребу об'єкта можуть видаватися обладнання та установки, та також може бути вся лінія виробництва або окрема його частина. Функціонування технологічним об'єктом управління разом з автоматизованою системою управління технологічним процесом утворюють так званий автоматизований технологічний комплекс (АТК).[14, 15]

Функції АСУТП формуються її зазначеними задачами, якими можуть бути, наприклад, заощадження палива, сировини та інших потребуючих ресурсів; надання незагрозливого функціонування; підвищення ознак якості продукції; скорочення розхідності на збереження робочого персоналу; увигіднення технолонічного процесу.

Нижче наведена таблиця з основними функціями АСУТП.

Таблиця 1.2. Основні функції АСУТП

Назва функції	Мета функції
Керуюча	Регулювання та стабілізація окремих технологічних змінних. Логічне керування окремими апаратами. Програмно-логічне керування групою обладнання. Оптимальне керування технологічним процесом. Адаптивне керування.
Інформаційна	Збір, обробка та представлення інформації оперативному персоналу або передача її на вищий рівень автоматизації: <ul style="list-style-type: none"> - централізований контроль та вимір технологічних параметрів, посереднє (непряме) обчислення технологічних показників або змінних; - формування та видача даних оперативному персоналу; - узагальнена оцінка та прогноз стану АТК; - підготовка та передача інформації у суміжні системи
Допоміжна	Не має користувача за межами АСУТП

Залежно від рівня участі людини в керуючому процесі виділяють два режими роботи даної системи [21]:

- 1) Автоматизований режим – здійснює керуючу дію за допомогою участі оператора:

- *ручний режим* (комплекс технічних засобів представляє продуктивні інформаційні дані про об'єкт управління, а вже обрання та здійснення керування обирається оператором);
- *режим порадики* (комплекс технічних засобів запропонує схвалення стосовно керування, а саме рішення про його застосування приймається корегувальником);
- *діалоговий режим* (комплекс технічних засобів створює та здійснює керуючу дію, а оператор, в свою чергу, має важливість до його корегування)

2) Автоматизований режим - здійснює керуючу дію без участі оператора:

- *режим непрямого керування* (комплекс технічних засобів міняє уставки локальними САК або реалізовує налаштування параметрів САК);
- *режим прямого цифрового керування* (комплекс технічних засобів безпосередньо здійснює дію виконавчими органами та пристроями).

Функціональна різниця між цими двома системами полягає у тому, що САК розрахована для оптимального відпрацювання заданого завдання, а АСУ – для оптимізації режиму роботи об'єкта керування (таблиця 2)

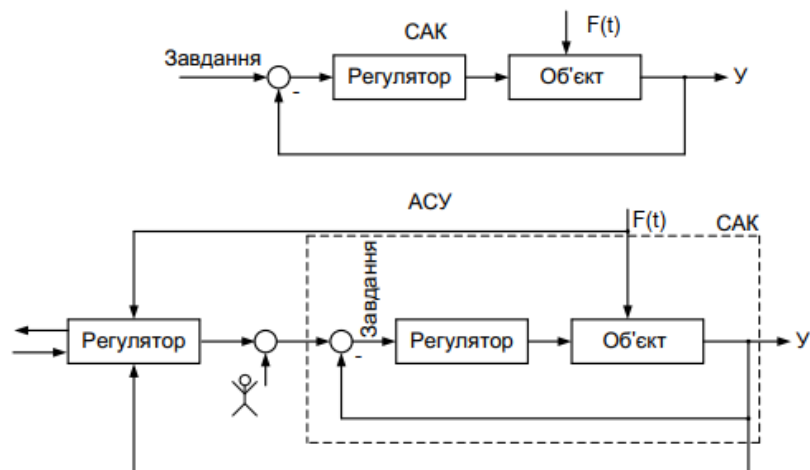


Рис. 1.2 Структурні схеми САК та АСУ

Таблиця 1.3. Різниця між САК та АСУ

САК	АСУ
<i>Мета функціонування:</i>	
Оптимальне відпрацювання завдання	Оптимальний режим роботи
<i>Критерії якості функціонування:</i>	
Показники якості регулювання	Показники ефективності роботи
<i>Спосіб досягнення мети:</i>	
Вибір алгоритму та параметрів регулятора	Вибір оптимального сигналу завдання

Для реалізації функцій [16] необхідна співдія наступних елементів АСУТП:

- 1) Технічне забезпечення;
- 2) Програмне забезпечення;
- 3) Інформаційне забезпечення;
- 4) Організаційне забезпечення;
- 5) Оперативний персонал.

Розглянемо все по порядку.

Технічне забезпечення охарактеризовує собою цілу сукупність КТЗ, котрі великою мірою є достатніми для діяльності АСУТП, До них можна віднести такі засоби як: датчики, перетворювачі, засоби для відображення, зберігання та реєстрації даних, пристрої передачі сигналу та контролери.

Програмне забезпечення – комплекс технічних програм, котрі потрібні для втілювання АСУТП та заданої роботи технічних засобів. Дані програмні забезпечення існує в двох проявах – загальне, або як системне, та спеціальне. В першому випадку

воно надходить з технічними засобами та надає їх функціонування, а в другому – здійснює керування технологічним процесом.

Інформаційне забезпечення містить повну інформацію про стан процесу та ТЗ, системи класифікації і кодування технологічної та техніко-економічної інформації, масиви даних і документів, а також нормативно-довідкова інформація.

Організаційне забезпечення відрекомендовує собою комплекс настанов та інструкцій конкретного характеру для оперативного персоналу, і крім цього також опис організаційної, функціональної та технічної структури.

Оперативний персонал угрупується з операторів-технологів, котрі реалізують контроль та управління технологічним об'єктом та експлуатаційного персоналу, котрий приєє підтримуванию програмно-технічних засобів АСУТП.

Отже, АСУТП може відокремлюватися на підсистеми за двома ознаками – функціональною та структурною.

Класифікація [10,16] , котра зазначена нижче, спрямована на вирішення таких задач, як:

- 1) Підбір ти вибір систем-аналогів на перших фазах створення АСУТП;
- 2) Попереднє становище запасів та планування дій, котрі стосуються розробки АСУТП;
- 3) Формулювання капіталоємності та науково-технічного рівня АСУТП.

В таблиці 3 наведені п'ять класифікаційних ознак АСУТП.

Таблиця 1.4. Класифікаційні ознаки АСУТП

Назва ознаки	Коротке пояснення
За рівнем, який займає АСУТП в структурі підприємства	<ol style="list-style-type: none"> 1) АСУТП нижнього рівня для ТОУ: агрегати, установки, ділянки (код 1); 2) АСУТП верхнього рівня для ТОУ: групи установок, цехи виробництва. При цьому АСУТП не має в своєму складі АСУТП нижнього рівня (код 2); 3) АСУТП багаторівневі: групи установок, цехи виробництва. При цьому АСУТП має в своєму складі АСУТП нижнього рівня (код 3).
За характером протікання технологічного процесу (ТП) у часі	<ol style="list-style-type: none"> 1) АСУ з перервним ТП. Процес характеризується перервною подачею сировини та реагентів з процесом, близьким до усталеного (код Н); 2) АСУ з перервно-дискретним ТП. Процес характеризується поєднанням неперервних та перервних режимів функціонування, як технологічних апаратів так і стадій процесу (код П); 3) АСУ з дискретним ТП. Процес характеризується перервними технологічними процесами з несуттєвою для керування тривалістю технологічних операцій (код Д).
За умовною інформаційною потужністю ТОУ	<ol style="list-style-type: none"> 1) За умовною інформаційною потужністю ТОУ: 2) мала – число контрольованих технологічних змінних 41÷160 (код 2); 3) середня – число контрольованих технологічних змінних 161÷650 (код 3); 4) підвищена – число контрольованих технологічних змінних 651÷2500 (код 4); 5) велика – число контрольованих технологічних змінних >2500 (код 5);
За рівнем функціональної надійності	<ol style="list-style-type: none"> 1) мінімальний рівень надійності – рівень надійності практично не регламентується, не потребує спеціальних засобів (код 1); 2) середній рівень надійності – рівень надійності регламентується, проте відмови АСУТП не приводить до зупинки ТОУ (код 2); 3) високий рівень надійності – рівень надійності жорстко регламентується, бо відмовлення можуть привести до зупинки ТОУ (код 3)
За типом функціонування АСУТП	<ol style="list-style-type: none"> 1) інформаційна АСУТП – автоматично виконуються лише інформаційні функції, а керування реалізує оператор (код І); 2) локально-автоматична АСУТП – автоматично виконуються інформаційні функції та функції локального керування, а керування процесом в цілому реалізує оператор (код Л) 3) порадна АСУТП – автоматично виконуються інформаційні функції та функції локального керування, а також формуються поради по керуванню процесом в цілому. Керування реалізує оператор (код С); 4) автоматична АСУТП – автоматично виконуються всі функції. Керування контролює оператор (код А).

До прикладу, АСУТП з кодом ЗН43С мається на меті, що це багаторівнева, з неперервним технологічним процесом, з підвищеною інформаційною потужність, з високим рівнем надійності та з функціонуванням в режимі «порадника» система.

В більшості харчової промисловості застосовується трирівнева структура АСУТП [10, 16, 23].



Рис. 1.3 Структура АСУТП

1) Рівень датчиків та виконавчих пристроїв. Датчики фізичних величин утворюють сигнали аналогового рівня. Найпоширенішими є стандарти напруги ± 15 В, ± 20 В та за струмом $0 \dots 20$ мА та $4 \dots 20$ мА.

Існують дискретні датчики, котрі можуть випускати сигнал типу «сухий контакт», надаючи гальванічну розв'язку: Вкл. – $R \approx 0$, Викл. – $R \approx \infty$. Беручи інші типи датчиків часто здійснено з електронною схемою з відкритим колектором типу «мокрый контакт» без гальванічної розв'язки: Вкл. – R_{\min} , Викл. – R_{\max} .

Початкові давачі датчиків або окремі його елементи можуть мати неоднакову природу та різний рівень сигналу. Щоб створити передачу даних сигналів на вищий рівень (технічний) застосовується пристрій зв'язку з об'єктом (ПЗО).

До головних завдань ПЗО можна віднести нормалізацію сигналів до стандартизованих рівнів, попередня фільтрація сигналів та перетворення до стандартів промислових інтерфейсів.

ПЗО можуть відображатись у подібні деяких окремих пристроїв або бути вбудованими у датчики, котрі є характерними для новітніх «інтелектуальних» датчиків, або відображається у подібні інтерфейсних плат або окремих елементів контролерів технологічного рівня. До прикладу, це може бути електромагнітні, електрогідравлічні та електропневматичні виконавчі механізми.

2) Технічний рівень здійснюється на мікропроцесорних пристроях:

- Контролери на базі ПК, котрі застосовуються для промислового використання.
- Локальні ПЛК, котрі можуть бути вбудовані в устаткування або ж у вигляді окремих (автономних) пристроїв. Вони містять в собі порти для підключення з датчиками по системі «точка-точка» та інтерфейси для з'єднання в комп'ютерну мережу.
- Мережевий комплекс контролерів. Це є одним з найбільших клас, котрий запроваджується в АСУТП. Контролери мають декілька локальних пультів диспетчера, набір інтерфейсів для різноманітних стандартів комп'ютерних мереж та дають змогу втілити різні топологічні схеми мереж.
- Повномасштабні серії контролерів. Перевагою є те, що така система надає можливість автоматизувати виробничу діяльність великого підприємства.

3) Диспетчерський рівень здійснюється операторськими станціями автоматизованих робочих місць спеціалістів, серверами баз даних, котрі найчастіше реалізуються на ПК.

1.3. Аналіз необхідності та перспектив впровадження стандартів в Україні

Опрацювання матеріалів, котрі стосується результатів опитування в громадських мережах, комунікація з персоналом виробничого процесу, представниками всесвітніх марок та інтеграторами в Україні інсценує дуже приглушену освіченість в сьогоденних, вже існуючих, фактах, котрі стосуються стандартів, не наголошуючи на їх призначення, а тим паче на їх застосування. [18] Цей показник підкреслює жахливий стан підготовки та навичок українських інженерів з автоматизації на рівні виробництва. Нижче проаналізуємо більш детально дані проблеми та до яких більших наслідків це може призвести та перспективи покращення вже існуючої ситуації.

Багато виробництв харчової промисловості, котрі мають періодичні процеси, на рівні беззастережного дотримання для застосування міжнародних стандартів зобов'язують використання ISA-88. [20] Брак функціональності, котра ґрунтується на інструкційному керування не дає перспективу утворення нових рецептів та здійснювати генеалогію продукту, не наголошувавши вже про результативне планування. Інколи можна спостерігати ситуації, коли інженери з автоматизації застосовують інструментальні засоби на базі ISA-88 без поінформованості принципів їх діяльності. При цьому вони прямо копіюють наявну реалізацію, самотужки розбираючись в даній методиці шляхом перевірки та помилок. Здебільшого такі випадки спричиняють збільшення життєвого циклу проекту та значною мірою обтяжують інтеграцію підсистем в єдину систему.

Робочі процеси з використанням стандарту ISA-106 на даний етап є не закінченими, оскільки ще йде період розвитку та аналіз інформації, але розглянувши доповідь Дейв Емерсон [22], в якій він зазначив що автоматизація процедур запуску, зупинки, виходу з нештатних ситуацій та переміна на інший продукт надають перспектив значною мірою захистити технологічний процес починаючи від аварій та закінчуючи скорочення часових та енергетичних втрат. Попри все це такі підходи

існують та відомі як підсистеми допомоги прийняття рішень. Але більша частина систем управління неперервним виробництвом узвичаєно ґрунтується єдино на регулюванні.

З приводу стандартів ISA-95, їх використання в інструментальних засобах не є всеосяжними. Більша частина здійснення не спирається на даний міжнародний стандарт, а зроблені з вжитком особистих підходів і нелегко інтегруються з іншими підсистемами. Не дивлячись на це, у всіх цих реалізаціях майже весь час трапляються загальні недоліки, котрі впливають з невідповідності нижніх рівнів керування. Прикладом може слугувати відсутність контролю правдивих даних, котрі перешкоджають надійності розрахунків балансів та ключових показників ефективності на верхніх рівнях.

Це вимагає підготовки та розробки нижніх рівнів керування підприємством зважаючи на їх інтеграцію в інтегровану систему керування. Єдина модель обладнання ISA-88, ISA-95, ISA-106 дає змогу опрацювати програмне забезпечення для ПЛК та SCADA/HMI з подальшою інтеграцією в верхні рівні.

Отже дані міжнародні стандарти потрібно застосовувати, так як вони виразно формулюють потрібні функції та їх взаємодію, а саме це стосується принципів декомпозиції та агрегування класичних функцій ІАСУ. Одна з опорних концепцій міжнародних стандартів є стан-орієнтовне керування, котра відображає свої переваги, які в свою чергу є аргументами для перспективи взяття до арсеналу цього підходу програмістами АСУТП.

На сьогоднішній час не існує ні одного аналогу зазначеним вище стандартам, у них згруповані різні результати роботи передових організацій в області автоматизації та наукових досліджень.

1.4. Аналіз горизонтальної та вертикальної інтеграції

Сьогодні автоматизована інтегрована інформаційна система управління підприємством зобов'язана надавати комплексне рішення всіх існуючих задач управління промисловими підприємствами. Починаючи від управління підприємством в загалом до управління технологічними процесами, за допомогою інформаційної інтеграції процесів.

Виконання цих задач можлива тільки за рахунок використання системної інформаційної підтримки виробничих процесів в рамках єдиного інформаційного простору їх функціонування.

У єдиного інформаційного простору надається взаємозв'язок інформаційних баз за рахунок інформаційного обміну даними про вироби і виробниче середовище між учасниками виробничого ланцюжка. Кожна з цих баз ґрунтує санкціонований доступ до даних про виробничі процеси кожного з учасників виробничого ланцюжка. Втілення такої системи підприємства можлива за рахунок принципів уніфікації та стандартизації.

Такий підхід дасть право на вирішення задач інформаційної інтеграції всіх виробничих процесів усередині підприємства - горизонтальна інтеграція та вирішення задач інформаційної взаємодії всіх учасників життєвого циклу виробу – вертикальна інтеграція. [19]

Тепер більш детально розберемося в цих двох термінах.

Таким чином, горизонтальна інтеграція дає можливість забезпечення інформаційної спів дії між наявними автономними підсистемами технологічного рівня.

Головними складовими такої підсистеми є:

- об'єднане промисловими шинами контролерне устаткування, котре має на мені забезпечення інформаційної взаємодії з якими застосовуються драйвери або сервери введення результату;
- додатки, котрі забезпечують збір даних з контролерного рівня;
- стандартні настільні програми;
- таблиці баз даних.

Підсистема інтеграції технологічних даних має забезпечувати високошвидкісний обмін даними, оскільки інформація, що надходить з технологічного рівня, відзначається високою швидкістю зміни (в порівнянні з бізнес-інформацією).

При цьому необхідно передбачити можливість передачі технологічних даних (вже оброблених інтеграційною підсистемою) на рівень системи управління підприємством.

Метою вертикальної інтеграції є здатність передання технологічних даних на рівні бізнес-додатків.

Головними складовими такої підсистеми є:

- надання можливості зберігання оперативних даних в об'ємі, оптимальному для конкретного підприємства. Такі дані виступають як джерело обробленої інформації, зокрема запитаної в бізнес-додатках, системах управління ресурсами підприємства;
- утворювання даних, котрі описують динаміку і систематичність технологічного процесу виробництва продукту від сировини до товару;
- утворення даних, котрі описують структуру та полягання фундацій (активів) підприємства, насамперед це стосується головних фундацій, за допомогою яких відбувається технологічний процес.

Здійснення інтегрування інформаційної системи управління підприємством можлива при умові сумісної вертикальної та горизонтальної інтеграції.

Інтеграція відіграє важливе значення як одна з способів згрупування управляючих додатків з цеховими системами. Також вона надає можливість для верхньої ланки управління підприємством перспективи роботи котрі стосуються обробки даних в моделюванні і програмуванні виробничих процесів, таким же чином брати на себе роль засобу планування, контролю та оптимізації внутрішніх операцій. [19]

Головною задачею, що зобов'язують інтеграції всіх систем підприємства, є потреба формування, зберігання та надання доступу до всіх моделей продукції і технологічними процесами.

Інтегрована інформаційна система зобов'язана надавати злагоджене і координоване рішення задач з урахуванням тимчасової і рівневої ієрархії за допомогою розділення загальної задачі управління по фазах планування, регулювання, обліку, аналізу, а також тимчасової ієрархії задач усередині кожної фази. В інтегрованій ІС уможлиблюється координація процесів дослідження ходу виробництва, оперативного і перспективного планування і адаптація системи за допомогою зміни складу і взаємозв'язків між задачами, а також характеру взаємодії між її компонентами.

Системний аналіз діяльності підприємства потребує аналізувати явища і процеси, що досліджуються, комплексно, з урахуванням їх зовнішніх і внутрішніх зв'язків, значущих з погляду цілей, поставлених перед системою. У використанні до проблеми розробки інтегрованих АСУ це потребує систематичної реалізації наступної сукупності робіт: формування цілей інтегрованої системи, виокремлювання локальних об'єктів управління, утвердження структури цілей і задач об'єкту управління, демонстрація та розбір істотних зовнішніх і внутрішніх зв'язків, засновування способу функціонування об'єкту і вирізнення частин в динаміці,

формулювання способів комплексування задач управління та напрямів інтеграції системи управління, впровадження локальних систем і здобуток локальних цілей, переходу до сумісного функціонування локальних частин системи.

Найважливішою межею інтегрованої інформаційної системи зобов'язано стати збагачування контуру автоматизації для отримання замкнутої, саморегульованої системи, здатної гнучко і оперативно перебудовувати принципи свого функціонування.

Інтегрована ІС підприємства надає утворення єдиної інтегрованої системи управління створенням і використанням конструкторської, технологічної, виробничої інформації по всіх видах виробів, а також інтеграцію із зовнішніми інформаційними системами.

Складовою частиною інтегрованої ІС мають вступати засоби для забезпечення документації управління, інформаційної підтримки наочних областей, комунікаційне програмне забезпечення, засоби організації колективної роботи співробітників і інші допоміжні (технологічні) продукти.

З цього випливає, що головним висловлюванням до інтегрованої ІС є інтеграція промислових продуктів, котра зображена на рисунку 1.6.



Рис. 1.4 Інтегрована інформаційна система підприємства

Інтеграція програмних продуктів має бути реалізована у вигляді стандартного формату зберігання даних. Не беручи до уваги різноманітне програмне забезпечення, котре застосовується в майже кожній з підсистем управління підприємством, дані розміщуються в неподільній базі, користування якої застосовується за рахунок різних програмних засобів. Таким чином утворюється єдина, цілісна структура даних, з іншою – перспектива обробки даних нічим не обмежена.

Управління виробничим процесом на підґрунті всебічної інформаційної підтримки спричиняє покращення якості створюваних виробів і зменшення витрат, оскільки підвищується обґрунтованість схвалюваних рішень, оскільки особи, котрі їх приймають, матимуть миттєвий доступ не тільки до бази даних АСУП, але і до баз систем автоматизованого проектування (САПР), автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва (АСТПВ), автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП) і ін.

З огляду на миттєвий доступ можна оптимізувати планування робіт, утворення та розуміння заявок, розподіл виконавчих дій між виконавцями і т.д. Витрати на загальну обробку інформації має бути мінімалізованими, а інформації, котра охарактеризовується з різних системах, повинна бути організована та пристосована для її практичного аналізу і постанови управлінського рішення.

Основною проблематикою, щодо перешкоджання результативному управлінню інформацією про бізнес-процеси на підприємстві, є великий обсяг такої інформації і комунікаційні перешкоди між учасниками процесів.

1.5. Аналіз існуючих автоматизованих систем управління підсистемою очищення дифузійного соку на цукрових заводах України

Для початку виконання кваліфікаційної роботи, а саме розробку автоматизованої системи управління технологічним комплексом цукрового заводу з підсистемою очищення дифузійного соку, мною було проаналізовано ряд прикладів, як стосуються даного завдання. Вони розписані в короткому прикладі, які зазначені нижче.

Перший аналізує завод - Теофіпольський цукровий завод, котрий знаходиться в Хмельницькій області.

Представлена система автоматизації процесу очищення дифузійного соку розроблена та впроваджена в сезон 2016 року.

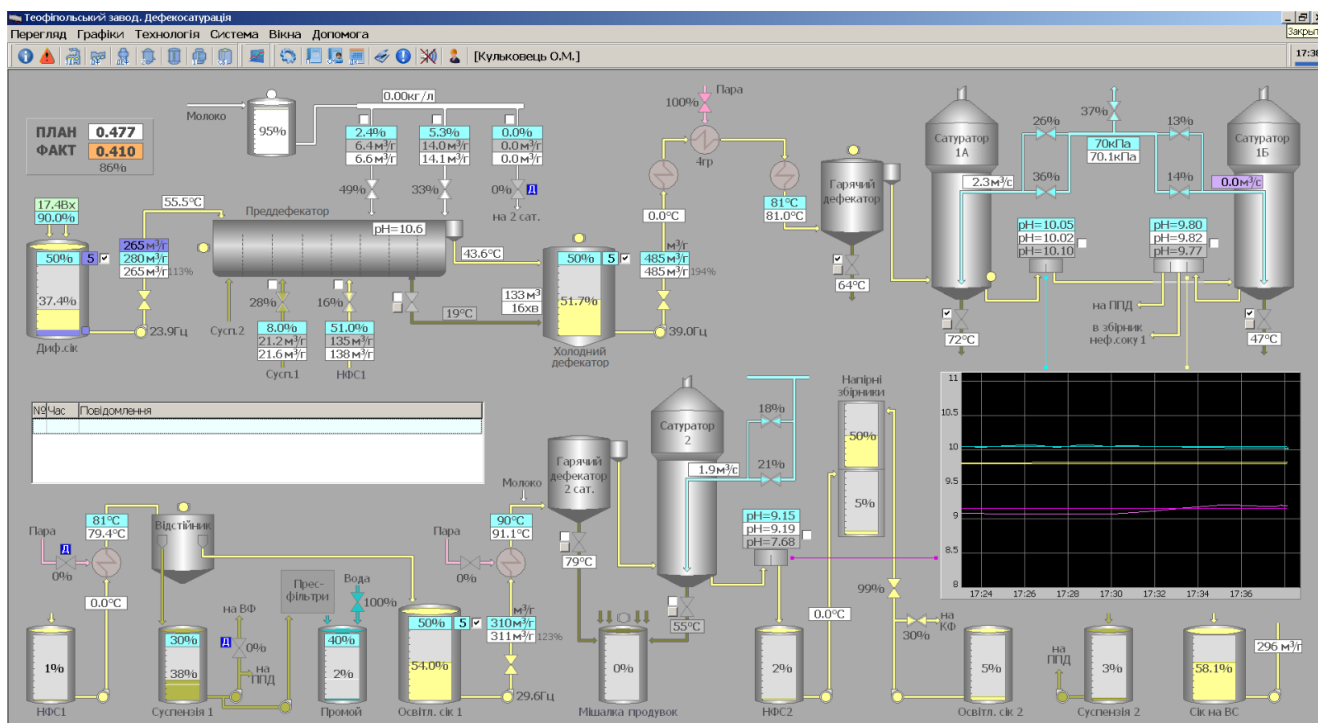


Рис. 1.5 Мнемосхема станції очищення дифузійного соку на Теофіпольському цукровому заводі

На зображенні мнемосхеми можна побачити, які саме обладнання охоплюють систему автоматизації. До них відносяться: збірник дифузійного соку, преддефектор

Бригель-Мюллер, холодний та гарячий дефекатор, котли А і Б І сатурації та котел ІІ сатурації зі збірниками соку та насосами, дефекатор перед ІІ сатурацією.

Основні складові системи являються:

- операторське приміщення зі щитом управління й комп'ютером;
- SCADA-сервер, котрий забезпечує підключення оператора та інших абонентів в локальній мережі та через Internet;
- щит управління зі станціями управління СУИМ 0/20 на основних контурах аналогового регулювання, котрі забезпечують і ручне управління;
- датчики: тиску и рівня Aplisens, термометри Тэра, витратоміри Siemens, рН рН-101П Dilis;
- виконавчі механізми: частотні перетворювачі АBB і Danfoss, затвори дискові.



Рис. 1.6 Щит управління на Теофіпольському цукровому заводі

В основі системи - контролер ВМХ М340 з модулем розширення на шассі і мережею Modbus/TCP/Ethernet:



Рис. 1.7 Зображення контролер ВМХ М340 з модулем розширення

Основні функції системи:

- регулювання витрати вапняного молока в преддефектор, холодний дефектор та дефектор перед II сатурацією по співвідношенню до витрати соку;
- регулювання витрати суспензії соків I та II сатурації по співвідношенню до витрати соку в преддефектор;
- регулювання витрати дефекованого соку на I сатурацію з корекцією по рівню;
- регулювання витрати фільтрованого соку I сатурації на II сатурацію з корекцією по рівню;
- регулювання рН соків I та II сатурацій;
- регулювання тиску вапняного молока й сатураційного газу в колекторах;
- контроль рівня в збірниках;
- управління продувкою основних апаратів відділення.

Також мною було проаналізовано ще один об'єкт автоматизації станції очистки дифузійного соку на Оржицькому цукровому заводі (Полтавської області).

У проєкті, який наразі існує, було використано SCADA та SOFTLOGIC-система TRACE MODE і контролери WinCON-8000. Розробка Операторського інтерфейсу АСУ програмування контролера відбувалося в TRACE MODE за новітніх технологій наскрізного програмування.

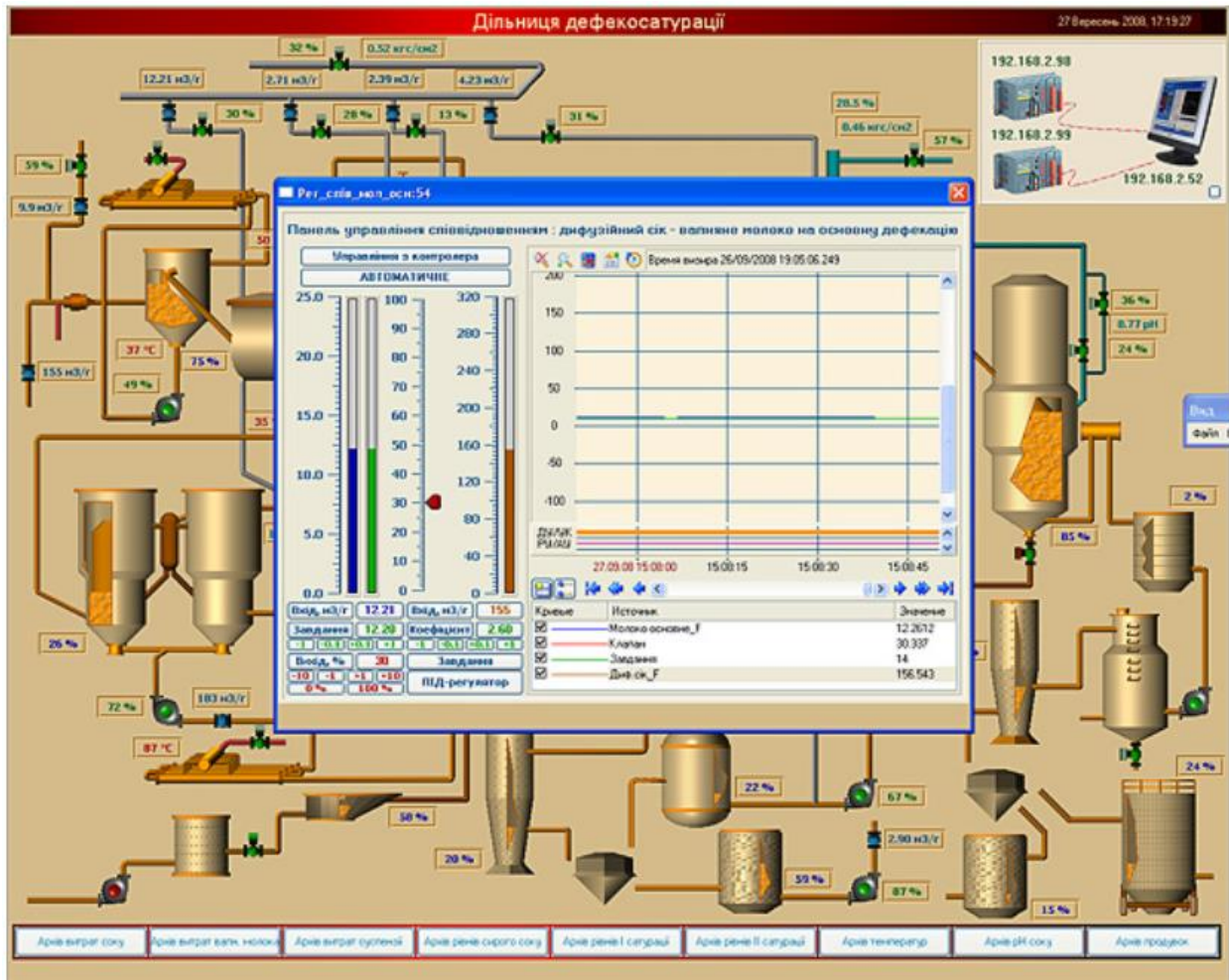


Рис. 1.8 Мнемосхема станції очищення дифузійного соку на Оржицькому цукровому заводі

Система управління побудована по традиційній ієрархічній схемі. Верхній рівень системи реалізує взаємодію оператора з технологічним обладнанням, котре залучене у виробничому процесі, надає персоналу в наглядному вигляді на екрані монітора

оперативну технологічну інформацію у вигляді динамічних мнемосхем та графіків за будь-який відрізок часу, формує архіви основних технологічних параметрів та повідомлення про відхилення параметрів від регламентних значень.

Середній рівень реалізує обробку отриманої аналогової і дискретної інформації, формує і відпрацьовує програмне дискретне управління по закладених алгоритмах та аналогове регулювання по різних законах.

На нижньому рівні датчики та перетворювачі забезпечують збір аналогових та дискретних сигналів технологічних параметрів і здійснюють безпосереднє управління виконавчими механізмами.

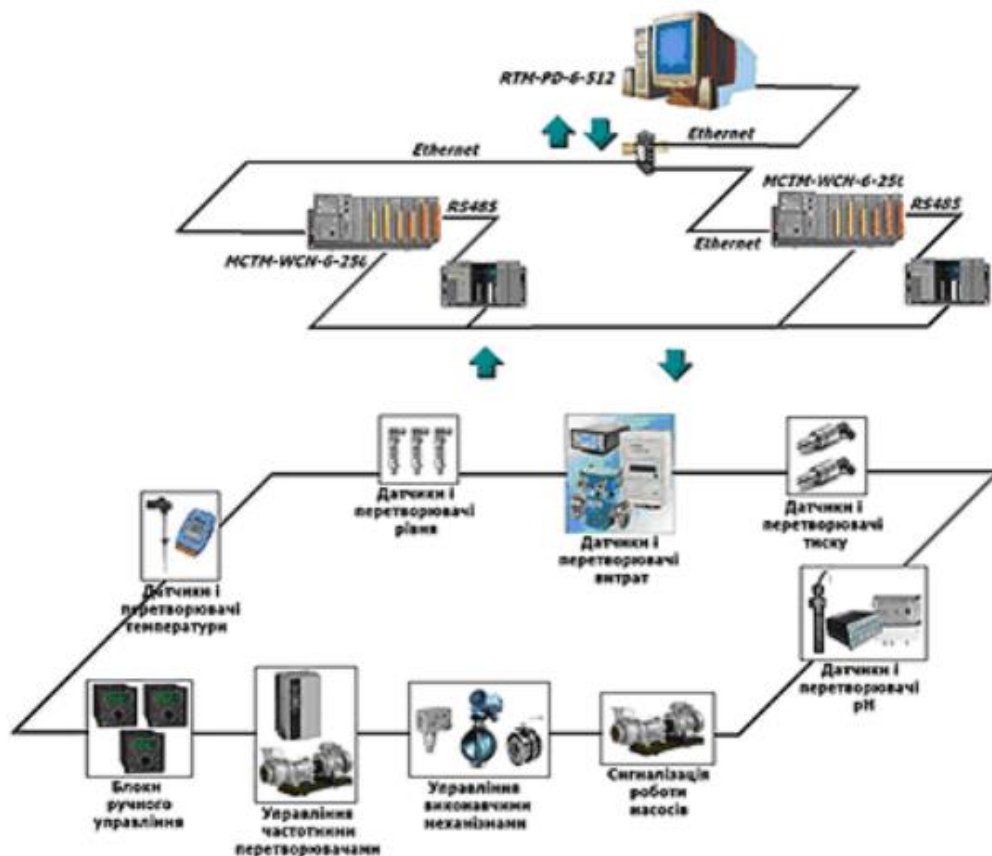


Рис. 1.9 Структура АСУТП для підсистеми очищення дифузійного соку на Оржицькому цукровому заводі

Нижній рівень АСУТП реалізований з застосуванням вітчизняних та імпортних датчиків та перетворювачів («МІКРОН», «ВП Діліс», «СІНАПС», «Мікротерм», «APLISENS», «CAMOZZI», «Danfoss»). Апаратна платформа середнього рівня системи – контролер WinCON, модулі дискретного та аналогового вводу/виводу та комутатор мережі Ethernet.

Автоматизоване робоче місце оператора реалізоване на персональному комп'ютері. Для програмування контролерів і створення операторської станції використовується SCADA/HMI/SOFTLOGIC-система TRACE MODE 6 компанії AdAstra. Контрольно-управляючими ядрами верхнього рівня є монітор реального часу.

Таким чином, розглянувши два приклади, зазначені вище, тепер я маю повну оцінку всієї роботи та задач, які поставлені в конкретній роботі. Також маю багато розуміння на що саме мені потрібно звернути увагу для автоматизації вибраного виробничого процесу, які саме параметри є найголовнішими та яким саме чином здійснюється їх контроль та регулювання.

1.6. Постановка задачі

На даному етапі, проаналізувавши аналітичний огляд літератури, котра існує у відкритому доступі та стосується вибраної теми кваліфікаційної роботи, а саме – автоматизована система управління технологічним комплексом цукрового заводу з підсистемою очистки дифузійного соку, можна виділити окремі підпункти на які потрібно з концентрувати увагу, а саме це стосується:

1) Розробити функціональну структуру автоматизованої системи управління, створення якої відбувається на підґрунті вихідних даних, котрі описують викладені характеристики об'єкту та вимог до нього. До цього пункту можна віднести створення схеми функціональної структури інтегрованої АСУ виробництвом цукру та опис автоматизованих функцій та задач, котрі вона виконує.

2) Розробити структурну схему комплексу технічних засобів для АСУТП виробництва в цілому. Дана процедура створення такої структури має ітераційний характер. Тобто спочатку потрібно провести аналіз попередньої схеми, її характер та напрямки інформаційних потоків між вузлами, а потім враховуються вимоги щодо неї проводиться вибору мережної структури та мережного обладнання.

3) Розробити підсистему управління технологічним процесом очищення дифузійного соку. Цей пункт вимагає створення схеми автоматизації, специфікації приладів та засобів автоматизації польового рівня, підбір програмно-технічних засобів АСУТП, створення схем контурів вимірювання, управління та сигналізації, з'єднання та підключення проводок для промислових серед ІО та PLC-НМІ АСУТП.

4) Створити елементи алгоритмічного та програмного забезпечення підсистеми автоматизованого управління технологічним комплексом цукрового заводу із застосуванням ключових показників ефективності та сучасних інформаційних технологій.

Розділ 2. Загальносистемні рішення

2.1. Загальний опис об'єкту та системи

Нинішній цукровий завод являється об'ємним та гарно обладнаним передовою промисловою технікою, котра з'явилася на сучасному ринку для забезпечення безперервної роботи всього технологічного комплексу.

Виробництво цукру-піску з цукрового буряка створюється з таких головних періодів як:

1. очищення та звільнення цукрового буряка від зайвих домішок (до прикладу це може бути залишки ботвини та землі);
2. отримання бурякової стружки та дифузійного соку;
3. очищення соку вапняним молоком та вуглекислим газом від нецукрів;
4. згущення очищеного дифузійного соку шляхом випарювання та уварювання сиропу;
5. одержання утфелю (кристалізація), центрифугування та пробілювання;
6. сушіння цукру-піску.

Вапняно-вуглекислого очищення дифузійного соку являється невіддільним елементом технології виробництва цукру. Відповідно від його результативності у великій мірі підпорядковується ефективність виходу готового продукту та його собівартості.

Суттєвий ефект на результат очищення займає фізико-хімічний склад і чисельність нецукрів дифузійного соку, котра залежить від якісних показників сировини, що спрямована на перероблювання. Останнім часом перевага надається культивуванню однонасінного цукрового буряка, котрий поступається багаторічному за власними сировинними ознаками. Отримання дифузійного соку з однонасінного буряка має нижчий ступінь чистоти, підвищений склад редукуючих речовин, має в собі практично в півтора – два рази більше загального азоту. Через це для більш

результативного ефекту процесу очищення і зменшення втрат сахарози потрібно здійснювати роботи по поліпшенню діючих засобів видалення нецукрів з дифузійного соку, а і звертати увагу запровадженню сучасних АСУТП.

З цукрового буряка в склад дифузійного соку переміщується практично вся сахароза та розчинні нецукри. Якщо брати втрати сахарози на процесі дифузії 0.5% маси буряка (з цих 0,5% - це 0,35% суха маса, позбавлена цукру, тобто жом, та 0,15%, котрі не браті до уваги, тобто невраховані), при показників цукристості сировини 16.2% з нього в отриманий сік переміщується 15.7 кілограм сахарози і 2.52 кілограм нецукрів. Підраховуючи це все визначаємо, що 18.22 кілограм сухих речовин до маси цукрового буряка. До того ж, у дифузійному соці утримується велика кількість невеликих елементів буряка, які мають назву мезги, котрий, в свою чергу, при контакті з повітрям стрімко змінює колір, тобто темнішає, та утворює піну.

З даного соку, котрий не буде піддаватися очищенню, буде нелегко отримати сахарозу, оскільки нецукри фактично стримують швидкісну дію кристалізації та підвищують вміст сахарози в мелясі. Одна частина нецукру в процесі кристалізації здатна утримувати в розчині 1,2-1,5 частини сахарози. Для того щоб отримати найвищий вихід цукру і найнижчий вихід меляси, потрібно з отриманого дифузійного соку відокремити максимум нецукрів та довести його до слаболужної реакції, у котрій сахароза являється стійкою при процесі розкладання.

Наразі існує багато загальновідомих способів очищення дифузійного соку, проте на практиці перебувають та застосовується тільки ті способи, котрі мають найкращу ефективність та меншу затратність. Здебільшого на цукробурякових заводах застосовується спосіб обробка дифузійного соку вапняним молоком – гідроксидом кальцію ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) з послідуочим обробленням соку сатураційним газом, що містить 30-36 % діоксиду вуглецю. Такий спосіб надає задовільну оцінку процесу очищення та, як наслідок, вміст сахарози залишається досить високим.



Рис. 2.1 Схема очищення дифузійного соку

Обробка вапняним молоком відбувається в декілька етапів:

- попереднє вапнування дифузійного соку малою кількістю вапна (0,25-0,30% CaO до маси буряків);

Мета попереднього вапнування – максимальна коагуляція високомолекулярних сполук, утворення щільного компактного осаду, стійкого до дії високої лужності на основній дефекації, та нейтралізація кислот, отримання соку I сатурації з гарними фільтраційними показниками.

- основне вапнування дифузійного соку 2-3% CaO до маси буряків (85-120% до маси нецукрів);

Мета основного вапнування – максимальний розклад нецукрів, нестійких в лужному середовищі – інвертного цукру (98–99 %), амідів (40–50 %), отримання соку, термостійкого при випарюванні на випарній установці.

- вапнування перед II сатурацією – 0,2-0,6% CaO до маси буряків.

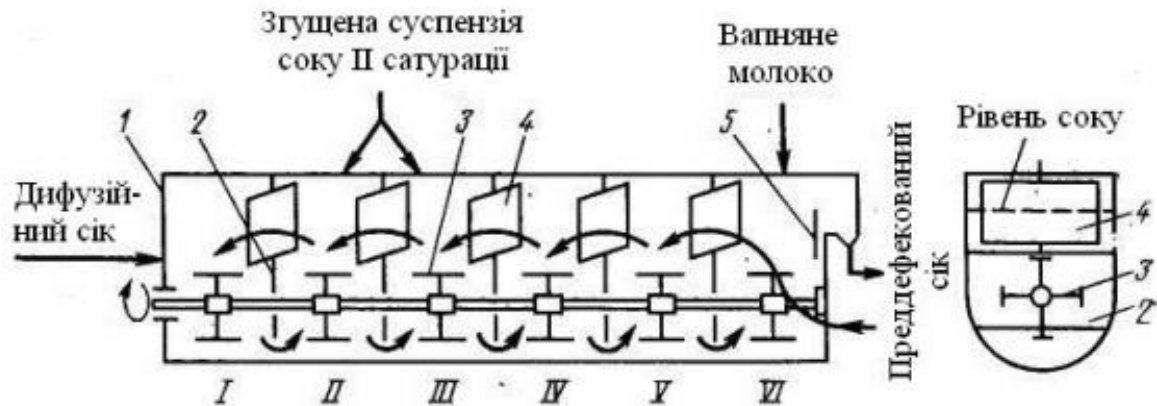
Відповідно з типовою холодно- або тепло-гарячою схемою очищення дифузійного соку спочатку подається на прогресивне попереднє вапнування.

Апарат переддефекації (рис.2.2) являє собою горизонтальний з напівкруглим днищем, корпус роз'єднаний на шість секцій поперечними перегородками, котрі не досягають до дна 2. Верхня частина перегородок виготовлені у такий спосіб, щоб була можливість обертатися на вертикальних осях, що дає змогу одержати прогресивне підвищення лужності переддефекаторного соку з 7,0 до 11,2 рН. Переміщення дифузійного соку по центру апарату забезпечує вал з лопастями 3. Над кожною з перегородок розміщується шибер 4, котрий має можливість повертатися та фіксуватися навколо вертикальної осі. Рівень соку в переддефекаторі регулюється шибером 5.

Значення рН соку в переддефекаторі збільшується та має ось такі значення:

I - 7-7,2; II - 7,8-8; III - 8,6-8,8; IV - 9,4-9,6; V-10,2-10,4; VI - 10,8-11,6.

В останню секцію переддефекатора подається вапняне молоко для надання на виході з апарату рН 10,8-11,2. В зону переддефекатора з рН 8,5-9,2 подається 10-20% згущеної суспензії осаду I сатурації або вся згущена суспензія осаду соку II сатурації. З переддефекатора дифузійний сік без підігрівання подається на перший ступінь основного вапнування: холодного (40-50⁰С) або теплого (50-60⁰С). При комбінованій схемі очищення дифузійного соку все вапняне молоко - 2,0-3,0% СаО до маси цукрових буряків подається на перший ступінь основного вапнування. Тривалість часу холодного або теплого вапнування складає 5-6 хв, щоб надати розчинності вапна.



Рисю 2.2 Схема секційного переддефекатора
 1-корпус, 2-дно з секціями, 3-вал з лопатами, 4-шибер, 5-шибер для регулювання рівня соку

При попередньому вапнуванні виділяють декілька основних видів хімічних реакцій:

- коагуляція та осадження ВМС речовин колоїдної дисперсії;
- нейтралізація кислот та осадження солей кальцію, котрі з аніонами кислот утворюють нерозчинні солі;
- реакція подвійного обміну;
- осадження катіонів важких металів: Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} .

Коагуляція і осадження ВМС. Коагуляція та осадження високомолекулярних сполук колоїдної дисперсності протікає в більшості випадків під впливом іонів Ca^{++} . За класифікацією до ВМС відносяться пектинові, білкові речовини, нуклеопротейди, сапонін, продукти лужного розкладу ВМС.

ВМС дифузійного соку мають дві оптимальні зони коагуляції:

1. оптимальна зона коагуляції в кислому середовищі при рН 3,5-4,2;
2. оптимальна зона коагуляції в лужному середовищі при рН 10,8-11,2(11,5).

Зона коагуляції при рН 3,5-4,2 пов'язана з тим, що до складу білкових речовин, котрі становлять значну частину ВМС, входить більша кількість кислих амінокислот

(аспарагінова, глутамінова). В кислому середовищі комплекс ВМС (білкові речовини, пектинові речовини) коагулюють в ізоелектричній точці.

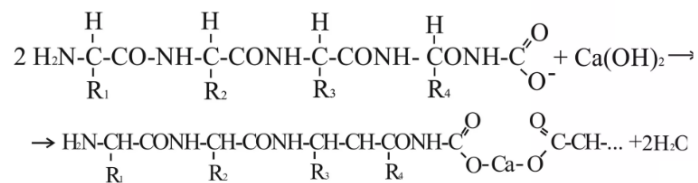
Ізоелектричною точкою називають таке значення рН середовища, при якому часточки білка не переміщуються в електричному полі, оскільки їх сумарний заряд дорівнює нулю. При зсуву рН в кислу зону від ізоелектричної точки білки заряджаються позитивно і навпаки, при зсуві рН в лужну зону вони отримують від'ємний заряд.

В ізоелектричній точці міцела ВМС втрачає свою стійкість в розчині, приходить у тісне зіткнення з іншими міцелами і поєднується в крупні агрегати.

В лужному середовищі у білкових речовин дифузійного соку відсутня ізоелектрична точка. Білкові речовини, як амфотерні сполуки, переміщують від'ємний заряд в силу дисоціації лише карбоксильної групи. Дисоціація аміногрупи пригнана, себто молекула білка обертається в аніон і цей аніон білка вступає в реакцію з іоном кальцію Ca^{2+} і створює нерозчинену сполуку.

Поряд з цим гідроксильні іони, котрі сформувалися при гідролізі $\text{Ca}(\text{OH})_2$, впливають на гідратну оболонку гідрофільних речовин ВМС колоїдної дисперсності, пробуджують їх дегідратацію і ущільнення, що робить осаді стійкими до пептизації при подальших процесах очищення соку.

Коагуляція ВМС колоїдної дисперсності в лужному середовищі залежить від концентрації катіонів Ca^{++} , аніонів білка та ступеня дегідратації нецукрів, а також рН середовища, температури і тривалості процесу. За низької температури 45–50 °С спостерігається максимальне осадження ВМС, велика стійкість осаду до високолужного середовища при основному вапнуванні.



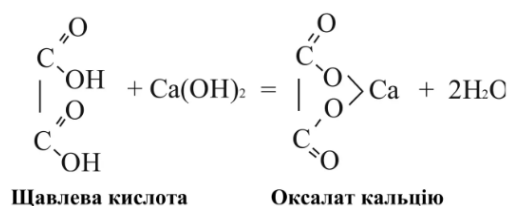
Оскільки коагуляція ВМС не викликана ізоелектричним станом, зона утворення нерозчинених сполук з катіоном кальцію Ca^{2+} не може мати чітко фіксованого оптимального значення рН і тим більше оптимальної лужності, оскільки в залежності від складу нецукрів дифузійного соку, умов проведення процесу, температури і тривалості процесу, натуральної лужності зона оптимальної коагуляції ВМС може перебувати в інтервалі рН 10,8–11,5.

Оптимум коагуляції ВМС можна з'ясувати по швидкості відстоювання коагуляту або прозорості соку, повноті осадження ВМС і аніонів кислот. Сік, котрий швидко відстоюється, містить крупні компактні частки осаду, формує щільний компактний осад, який в свою чергу покращує фільтрацію.

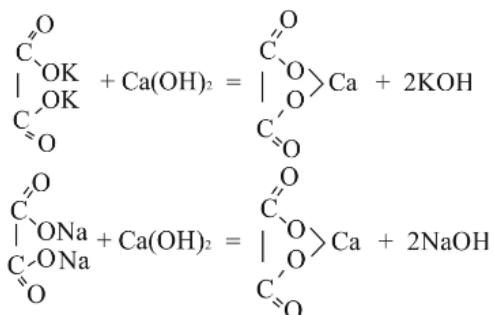
Контроль за оптимумом коагуляції ВМС на попередньому вапнуванні доцільно виконувати по величині рН, а не по кількості добавленого вапна. В залежності від буферності соку, величини натуральної лужності кількість добавленого вапна для досягнення оптимального рН буде змінюватись.

Нейтралізація кислот. На попереднє вапнування з дифузійним соком потрапляють такі кислоти як: шавлева, лимонна, винна, яблучна, оксилімонна. Найбільш повно при попередньому вапнуванні осаджується шавлева, фосфорна і сірчана кислоти.

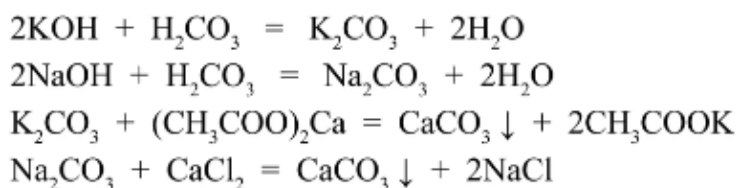
Нейтралізацію шавлевої кислоти (оксалатної) можна описати у вигляді рівняння:



Реакція подвійного обміну. Реагуючі з кальцієм кислоти перебувають не лише у вільному стані, а також у вигляді розчинних солей калію, натрію та інших металів.

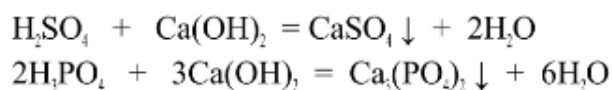


Ці реакції мають назву реакції осадження, або реакції подвійного обміну. В результаті таких реакцій в сік потрапляє KOH та NaOH, котрі в подальшому на II сатурації обертаються в K₂CO₃ та NaCO₃. Ці сполуки визначають натуральну лужність, а також буферну ємність соку. Зростання натуральної лужності буде допомагати ліпшому видаленню розчинних солей кальцію.

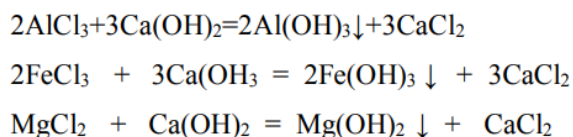


Осадження аніонів кислот, які з катіоном Ca²⁺ утворюють нерозчинні солі. Іони кальцію вступають в реакцію, крім щавлевої кислоти, з аніонами кислот: винної, лимонної, оксилімонної, яблучної, утворюючи погано розчинні, випадаючі в осад солі кальцію.

Із мінеральних кислот катіони Ca²⁺ осаджують аніони фосфорної та сірчаної кислот.



Осадження катіонів важких металів. Крім іонів Ca^{++} , котрі осаджують аніони кислот, гідроксильні іони викликають осадження катіонів магнію Mg^{2+} , алюмінію Al^{3+} , заліза Fe^{3+} , Fe^{2+} .



Ці реакції не встигають повністю завершитись на попередньому вапнуванні, вони продовжуються ще й при основному вапнуванні.

При відділенні переддефекаційного осаду видаляється більша частина осаджених сполук Fe^{3+} і Al^{3+} , фосфатів і 50 % азотистих речовин. Після попереднього вапнування в соку залишається лише 13 % щавлевої кислоти, винної – 25 %. Лимонна кислота в умовах холодного попереднього вапнування осаджується лише на 30 %.

За типовою схемою очищення проводиться комбіноване основне вапнування: спочатку холодне, котре допомагає збільшити розчинність вапна в соку, надавати термостійкість продуктів та знизити їх забарвленість, а далі гаряче основне вапнування.

Таблиця 2.1. Технологічні параметри процесу основного вапнування

Показання	Вапнування по типовій схемі очищення		
	Холодне	Тепле	Гаряче
Температура, °С	45-50	50-60	85-90
Витрата вапна, % до маси нецукрів дифузійного соку	85-120	85-120	85-120
Витрати вапна, % до маси буряків	2,0-3,0	2,0-3,0	2,0-3,0
Оптимальна тривалість з урахуванням поверхні, хв	20-30	10-15	5-10

За даними, котрі доступні в літературі, в системі вапняне молоко + вода + сахароза проявляється фізико-хімічна рівновага.

Кількість вапна, котра додається до дифузійного соку на основне вапнування, суттєво більша, ніж вона може розчинитись. Витрата вапні складає близько 2– 2,5 % , однак фактично при температурі 80 °С в 14 % розчині сахарози розчиняється лише 0,25 %, тобто лише $\frac{1}{8}$, а $\frac{7}{8}$ взятого вапна залишається в осаді.

За температури 85 °С і тієї незначної концентрації вапна (0,25 %), котра є в розчині, можна вважати, що лише один атом водню сахарози проявляє кислотні властивості, тобто утворює не моносахарат $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot CaO$, а “напівсахарат”, де на одну молекулу двовалентного вапна приходиться дві молекули сахарози.

Таким чином, проведення холодного (теплого) вапнування забезпечує майже в п'ять разів більшу розчинність вапна, високу швидкість хімічних процесів і отримання низькозбарвлених продуктів.

Основне вапнування відбувається у вертикальному апараті (рис. 2.3), у корпусі котрому здійснюється оберт валу з лопатевою мішалкою 4 і мішалкою 5 для збаламування осаду. Енергійному перемішуванню дифузійного соку з вапняним молоком допомагають укріплення на стінках апарату чотирьох контрлопастей 3.

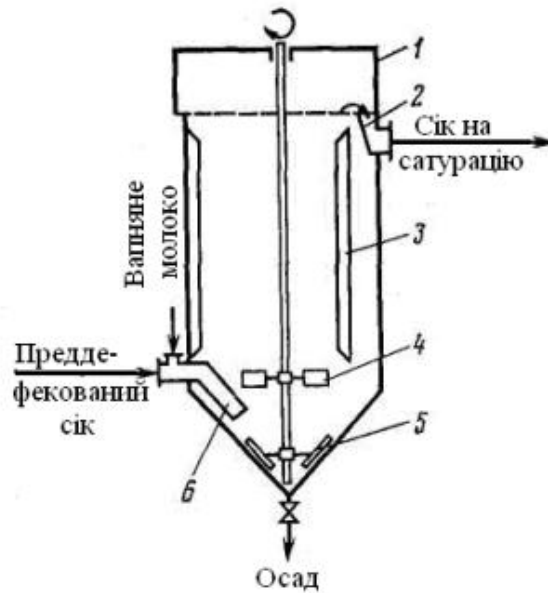


Рис. 2.3 Схема дефекатора

1-ринва, 2-перелевна кишеня, 3-контрлопасті, 4-лопастева мішалка, 5-мішаслка, 6-труба

З переддефекатора в дефекатор по ринві 1 стікає утворена піна, а по трубі 6, що знаходиться знизу, поступає сік. І в дану трубу з дозатора подається вапняне молоко. Дифузійний сік переправляється на сатурацію через патрубков, прикритий переливною кишенею 2. Час основного вапнування регулюють по кількості дифузійного соку в апараті, автоматично піддержуючи його на заданому рівні.

Комбінована холодно-гаряча дефекація використовується на цукровому виробництві тоді, коли якісні показники сировини є зниженими в порівнянні з оптимальними. При переробці непошкодженого цукрового буряка очищений сік хороших показників якості отримують, застосовуючи зокрема тільки гарячу дефекацію.

Дефекація дифузійного соку міцно пов'язана з процесом I сатурації. Через це для надання стійкої роботи сатурації потрібно піддержувати сталу концентрацію вапна в дефекаційносу соці, котрий здобувається автоматичним дозуванням вапняного

молока в сік. В залежності від якісних показників буряка, котрі визначаються в лабораторії, технологами формується температура і тривалість самого процесі.

Після основної дефекації нефільтровний дифузійний сік з вмістом вапна потрапляє на I сатурацію, де його опрацьовують сатураційним газом.

Мета I сатурації – максимальна адсорбція (хемосорбція нецукрів) на поверхні CaCO_3 та отримання структури осаду з хорошими седиментаційно-фільтраційними властивостями.

Внаслідок сатурації утворюється карбонат кальцію, часточки якого мають позитивний заряд, адсорбують від'ємно заряджені нецукри – ВМС, барвні речовини, продукти розкладу редукувальних речовин, нецукрів, солі карбонових кислот.

При введенні сатураційного газу, який містить 30–36 % CO_2 , в високолужне середовище соку основного вапнування мають місце масообмінні процеси та хімічні реакції.

Таким чином, для утворення іону карбонату кальцію потрібно два гідроксильних іони, тобто надлишок лугу в розчині. Процес абсорбції CO_2 вапняною суспензією буде тривати до тих пір, поки не зникне джерело поповнення гідроксильних іонів за рахунок розчинення твердої фази $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – надлишку вапна дефекованого соку.

Щоб не пробуджувати пептизацію речовин колоїдної дисперсності, I сатурацію призупиняють тоді, коли у тій же точці рН бало досягнена оптимальна коагуляція.

Три етапи в процесі I сатурації на різних ступенях сатурації вапна. Залежно від ступеня сатурації вапна в процесі сатурації можна виділити три етапи.

I етап – ступінь сатурації 40–50 %, спостерігається різке падіння лужності і рН розчину, забарвленості соку, в'язкість системи дещо зростає;

II етап – ступінь сатурації 60–70 %, при зменшенні загальної лужності системи значно підвищується рН розчину і спостерігається десорбція адсорбованих раніше

барвних речовин, в'язкість на даному етапі сатурації різко збільшується, осад набуває гелеподібну структуру і майже не фільтрується. В соку утворюються комплексні сполуки з надлишком СаО, які називають вуглекальцієвими сахаратами – $(C_{12}H_{22}O_{11})_X \cdot (CaCO_3)_Y \cdot (CaO)_Z$.

III етап – ступінь сатурації сягає вище 70 %, значення x і z в рівнянні зменшуються, гель руйнується з утворенням зернистого осаду, який містить кристали карбонату кальцію. В'язкість системи зменшується, об'єм осаду різко знижується, адсорбція нецукрів зростає. Гель на даному етапі перетворюється в суспензію.

Отримання лужності соку I сатурації. Це така лужність, за якої спостерігається максимальна адсорбція нецукрів, гарні седиментаційно-фільтраційні показники соку і ефективно працює фільтраційне обладнання. Оптимальну лужність соку I сатурації встановлюють дослідним шляхом лабораторією заводу, вона становить 0,09– 0,11 % СаО, рН соку – 10,8–11,4.

Якщо сік недогазований, лужність його вища за оптимальну, якісні показники такого соку – чистота, вміст солей кальцію і забарвленість не гірші, ніж при нормально проведеній I сатурації, але такий осад СаСО₃ важко відфільтрувати, в недогазованому соку присутні гелі вуглекальційових сахаратів.

При пересатуруванні соку нижче оптимальної лужності і рН покращуються седиментаційно-фільтраційні показники соку. Але при цьому погіршується його якість в результаті десорбції нецукрів, адсорбованих на карбонаті кальцію, а також розчинення компонентів осаду попереднього вапнування.

I сатурація відбувається в протитечійному гранчастому сатураторі (рис. 2.4) – вертикальному циліндричному апараті з конічним дном і розширеною верхньою частиною.

Якщо розглядати нижню частину апарата 1, то на ній розташовано три перегородки 2, котрі розташовані на однаковій відстані один від одного, та призначені для рівномірного розміщення бульбашок сатураційного газу в соці.

Дефектований сік поступає до сатуратора вгорі, де знаходиться нерухома розподільча тарілка 3, а сатураційний газ перекачується за допомогою газового компресора, котрий розташований внизу. Даний газовий компресор розміщується нижче сатуратора, і тому через це сатураційний газ нагнітається в апарат за допомогою гідравлічного затвору, котрий заважає випливанню соку з сатуратора через компресор при його зупинці.

При протіканні через шар соку значна частка C_2 абсорбується та взаємодіє з $Ca(OH)_2$, формуючи кристалічний карбонат кальцію. Сатураційний газ, котрий був застосований відводиться в атмосферу, очищаючись від бульбашок соку за сприянням парасоля 5 та сепаратора 4.

Відсатурований сік потрапляє у середній простір контрольованого ящика 8, де за рахунок рухливого щитка 7 потік розподіляється на 2 частини: перша спрямована на переддефекатор, друга – на фільтрування у фільтри-згущувачі.

Високість шару соку в I сатураторі піддержується на рівні орієнтовно 4,3 м. Граничний рівень утвореної піти в I сатураторі перевіряється за рахунок трубки 6.

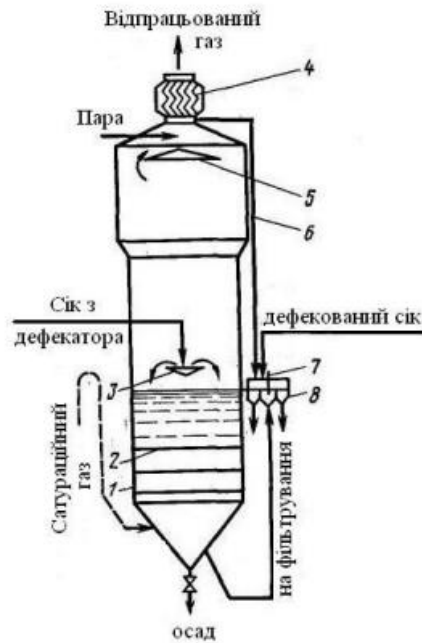


Рис. 2.4 Схема протитечійного гратчастого сатуратора для вбирання піни, що утворилася 1-нижня частина корпусу, 2-перегородки, 3-нерухома розподільча тарілка, 4-сепаратор, 5-паралося, 6-трубка, 7-рухливий щиток, 8-контрольний ящик

Оптимальна лужність соку I сатурації. Це така лужність, за якої спостерігається максимальна адсорбція нецукрів, гарні седиментаційно-фільтраційні показники соку і ефективно працює фільтраційне обладнання. Оптимальну лужність соку I сатурації встановлюють дослідним шляхом лабораторією заводу, вона становить 0,09– 0,11 % CaO, рН соку – 10,8–11,4.

Якщо сік недогазований, лужність його вища за оптимальну, якісні показники такого соку – чистота, вміст солей кальцію і забарвленість не гірші, ніж при нормально проведеній I сатурації, але такий осад CaCO_3 важко відфільтрувати, в недогазованому соку присутні гелі вуглекальційових сахаратів.

При пересатуруванні соку нижче оптимальної лужності і рН покращуються седиментаційно-фільтраційні показники соку. Але при цьому погіршується його якість в результаті десорбції нецукрів, адсорбованих на карбонаті кальцію, а також розчинення компонентів осаду попереднього вапнування.

Нефільтрований сік I сатурації включає в себе 4-5% зважених часток, котрі потрібно відділити, щоб продовжити наступне очищення соку. Для цього раніше використовували громадні та малорезультативні гравітаційні відстійники, де вздовж великого проміжку часу зважені частки осаджувалися та відводилися з них на вакуум-фільтри для відведення та промивання фільтрованого осаду.

Фільтрат з вакуум-фільтра та декантат з відстійників піддаються об'єднанню та ще одній стадії фільтрації. Водночас при високих температурах та двоступінчастого фільтрування соку, котрий довгий час знаходиться у відстійнику, погіршуються його якісні показники та термостійкість.

На II сатурацію надходить фільтрований сік I сатурації лужністю 0,09–0,11% CaO, котрий містить сахарозу, Ca(OH)₂, KOH, NaOH, розчинні солі кальцію органічних кислот. Відповідно до типової технологічної схеми перед II сатурацією проводять вапнування, витрати вапна на яке становлять 0,2–0,5% CaO (10–20 % від загальної витрати вапна).

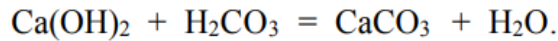
Температура проведення вапнування становить 92–96 °С, тривалість – 4–5 хв.

Мета проведення вапнування перед II сатурацією – додатковий розклад редукувальних речовин та амідів, забезпечення високої термостійкості соку та сиропу.

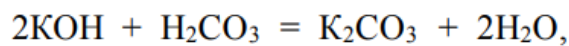
Повторне оброблення соку сатураційним газом проводиться з метою:

- максимально можливого осадження катіонів Ca²⁺, що залишились у фільтрованому соку I сатурації;
- додаткового адсорбційного очищення соку на поверхні CaCO₃, вільного від осаду ВМС (коагуляту ВМС);
- доведення рН соку до такої величини, котра б забезпечила отримання сиропу з випарної установки з рН не нижче 8–8,5, що гарантує мінімальний розклад сахарози і приріст забарвленості соку.

Хімічні реакції на II сатурації. В першій фазі в процесі II сатурації утворюється карбонат кальцію – CaCO_3 при взаємодії CO_2 і Ca(OH)_2 , гідроксиди калію і натрію залишаються незмінними.

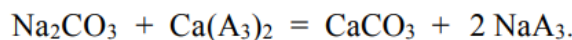
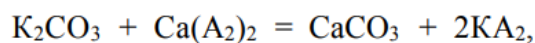
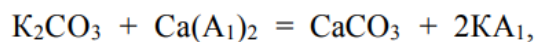


В другій фазі після осадження гідроксиду кальцію H_2CO_3 діє на KOH і NaOH , утворюючи карбонати лужних металів. При цьому лужність соку продовжує зменшуватись.

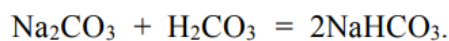
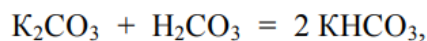
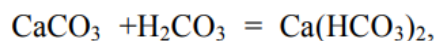


Стадію, під час якої як гідроксид кальцію, так і гідроксиди лужних металів перетворюються в карбонати, називають стадією утворення “оптимальної лужності”.

В третій фазі перебігає реакція взаємодії карбонатів лужних металів з розчинними солями кальцію з утворенням нерозчинного карбонату кальцію і відповідними розчинними солями K і Na .



Якщо після перетворень гідроксидів лужних металів в карбонати продовжити процес насичення соку CO_2 настає небажана четверта стадія: нерозчинний карбонат кальцію перетворюється в бікарбонат, а осаджуючі реактиви (карбонат кальцію і натрію) – в бікарбонати, котрі не реагують з розчинними солями кальцію:



Натуральна та ефективна лужність соку. Лужність соку, зумовлена надлишком карбонатів калію та натрію після осадження іонів кальцію, називається натуральною. Розрізняють теоретичну та практичну натуральну лужності.

Теоретична натуральна лужність – надлишок K_2CO_3 та Na_2CO_3 , виражений у відсотках CaO , після повного осадження іонів кальцію.

Практична натуральна лужність – надлишок K_2CO_3 та Na_2CO_3 , виражений у відсотках CaO , після практично можливого осадження іонів кальцію.

Повніше осадження іонів кальцію у вигляді $CaCO_3$ досягається за умов більшого надлишку карбонатів калію та натрію в соку. Повного осадження іонів кальцію в реальних умовах досягнути неможливо, і тому практична натуральна лужність соку завжди буде вищою за теоретичну.

Натуральна лужність – різниця між лужністю соку I сатурації, визначеною в присутності індикатора фенолфталеїну та вираженою у відсотках CaO , та вмістом солей кальцію в соку I сатурації, визначеним комплексометричним методом та вираженим у відсотках CaO . рН переходу (знебарвлення) індикатора фенолфталеїну 8,0–8,2. Під час титрування проби соку від рН 9,25 до рН 8,0–8,2 відтитровуються буферні речовини, котрі не являються лугами і не беруть участі в осадженні іонів кальцію. Це приводить до одержання завищених величин натуральної лужності соку. З метою усунення цього недоліку А. БрігельМюллер та Х. Брюніхе-Олсен запропонували визначати ефективну лужність. При цьому лужність фільтрованого соку I сатурації визначається потенціометричним титруванням до рН 9,25. Величина ефективної лужності соку краще корелюється з мінімумом вмісту солей кальцію в очищеному соку, ніж величина натуральної лужності.

Цукрові заводи ряду країн Західної Європи та США внаслідок контролю та керування II сатурації за ефективною лужністю досягли зменшення вмісту солей кальцію в очищеному соку та значного підвищення виробничої потужності випарної

установки. Величини натуральної чи ефективної лужності є досить надійними показниками співвідношення між концентрацією солей кальцію в соку та сумою концентрацій карбонатів калію та натрію за умов відсутності розкладання моносахаридів під час вапнування соку перед II сатурацією, що є реальним за повного розкладання моносахаридів під час основного вапнування. Розкладання моносахаридів та утворення аніонів кислот під час вапнування соку перед II сатурацією зменшує величини натуральної чи ефективної лужності в соку перед II сатурацією порівняно з визначеними в соку після I сатурації.

Отже, за наявності вапнування соку перед II сатурацією реальні величини натуральної чи ефективної лужності визначаються в соку перед II сатурацією чи в соку після II сатурації за його оптимальної величини рН.

Натуральна та ефективна лужності соку залежать від умов вирощування та зберігання цукрових буряків, екстрагування сахарози з бурякової стружки та очищення дифузійного соку.

Низьку натуральну лужність має сік, одержаний із буряків, вирощених у посушливе літо, недозрілих та тривалого зберігання. Такі буряки мають підвищений вміст іонів Ca^{2+} та Mg^{2+} , небілкового азоту, редукувальних речовин та аніонів кислот.

Під час екстрагування сахарози з бурякової стружки внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів у сокостружковій суміші зростає вміст аніонів кислот у дифузійному соку. Зменшенню надходження мікроорганізмів у дифузійну установку сприяє ополіскування свіжою водою та дезінфекція буряків перед подрібненням у бурякорізках, дотримання заданого температурного режиму роботи дифузійної установки та використання дезінфектантів. Ці заходи будуть сприяти підвищенню натуральної та ефективної лужностей соку.

На величину натуральної лужності соку значний вплив має ефективність очищення соку, повнота адсорбції нецукрів на поверхні карбонату кальцію під час I

сатурації. Вилучення із соку аніонів кислот і барвних речовин, ВМС білково-пектинового комплексу є наслідком їх адсорбції на поверхні позитивно заряджених часточках карбонату кальцію та співосадження зі зростаючими часточками CaCO_3 .

Вміст гідроксидів калію та натрію в соку перед II сатурацією залежить від вмісту солей калію та натрію з аніонами щавлевої, лимонної, яблучної, фосфорної та сірчаної кислот у дифузійному соку. Під час II сатурації гідроксиди калію та натрію внаслідок взаємодії з діоксидом вуглецю утворюють відповідні карбонати.

У тому разі, коли $[\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3] > [\text{Ca}(\text{A}_1)_2 + \text{Ca}(\text{A}_2)_2 + \text{Ca}(\text{A}_3)_2]$ у соку буде надлишок карбонатів калію та натрію, що зумовлюють певну величину натуральної лужності соку, натуральна лужність буде позитивна.

За умов, коли сума концентрацій карбонатів калію та натрію менша за суму концентрацій солей кальцію, має місце від'ємна натуральна лужність соку. У такому соку не вистачає карбонатів калію та натрію для осаження іонів кальцію у вигляді карбонату кальцію.

У разі незначної чи від'ємної величини натуральної лужності слід виконати всі заходи, спрямовані на зниження вмісту солей кальцію – аніонів кислот у соку перед II сатурацією. Лише після встановлення оптимального технологічного режиму в екстракційному та сокоочисному відділеннях, недостатню натуральну лужність можна компенсувати додаванням у фільтрований сік після I сатурації кальцинованої соди (Na_2CO_3) чи тринатрійфосфату ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$).

Використання цих реагентів має бути крайнім заходом. Вони є сильними мелясоутворювачами. Коефіцієнт мелясоутворення Na_2CO_3 – 2,88, Na_3PO_4 – 1,5. Карбонат і фосфат натрію гідролізують з утворенням гідроксиду натрію, що зв'язує сахарозу і збільшує її розчинність. Мелясоутворюючий коефіцієнт NaOH – 4,61. У виробничих умовах спостерігається, що на кожну тонну введеної соди виробництво недоодржує 5 тонн товарного цукру. Він залишається в мелясі.

Сода та тринатрійфосфат вводяться у фільтрований сік перед II сатурації. У виробничих умовах перевага надається тринатрійфосфату, котрий повніше осаджує іони кальцію. Оскільки тринатрійфосфат дорожчий за соду, можна використовувати суміш реагентів у співвідношенні 1:1.

Оптимальні величини лужності та рН соку II сатурації. Це є величини лужності та рН соку після II сатурації, за яких досягається мінімальний вміст іонів Ca^{2+} в соку. За умов поступового чи ступінчастого зниження лужності та рН соку II сатурації соку здійснюється до оптимальних величин лужності та рН соку. Лужність і рН соку за мінімального вмісту іонів Ca^{2+} в соку зумовлені присутністю в соку карбонатів калію, натрію та амонію. Присутність карбонату амонію є наслідком розкладання солей амонію та гідролізу амідів з виділенням аміаку. Ефективність II сатурації щодо підвищення чистоти соку значно залежить від способу проведення технологічного процесу.

Оптимальні величини рН та лужності соку II сатурації визначаються в лабораторії цукрозаводу. Для цього 1 л фільтрованого соку I сатурації нагрівають до 80–85 °С у водяній бані та проводять сатурацію до майже нейтральної реакції на фенолфталеїн. Під час сатурації відбирають 8–10 проб соку. У фільтрованих пробах визначають рН, лужність і вміст солей кальцію. Під час сатурації соку вода випаровується, і підвищується вміст сухих речовин. Тому для точнішого визначення вмісту солей кальцію в соку їх відносять до 100 СР.

Зниження вмісту іонів кальцію в розчині зі зниженням рН від 11,0 до рН 9,25 під час II сатурації зумовлено зниженням концентрації гідроксиду кальцію в розчині і виділенням твердої фази карбонату кальцію. Залежність вмісту солей кальцію в соку проходить через мінімум. Зростання вмісту іонів кальцію після досягнення мінімуму зумовлене розчиненням карбонату кальцію в присутності діоксиду вуглецю з утворенням гідрокарбонату кальцію, який має значно вищу розчинність, ніж карбонат кальцію.

2.2. Розробка загальної ієрархічної моделі обладнання

В даному пункті розглядається фізична модель, котра може виконуватися для описання фізичних активів цукрового виробництва у таких термінах, як: підприємств (Enterprises), виробничих площадок (Sites), дільниць (Areas), технологічних комірок (Process Cells), апаратів (Units), агрегатів (Equipment Modules) та модулів керування (Control Modules).

Три верхні рівні входять в модель з метою правильного визначення взаємозв'язку обладнання нижнього рівня з виробничим підприємством. Нижні рівні цієї моделі відносяться до конкретних типів обладнання.

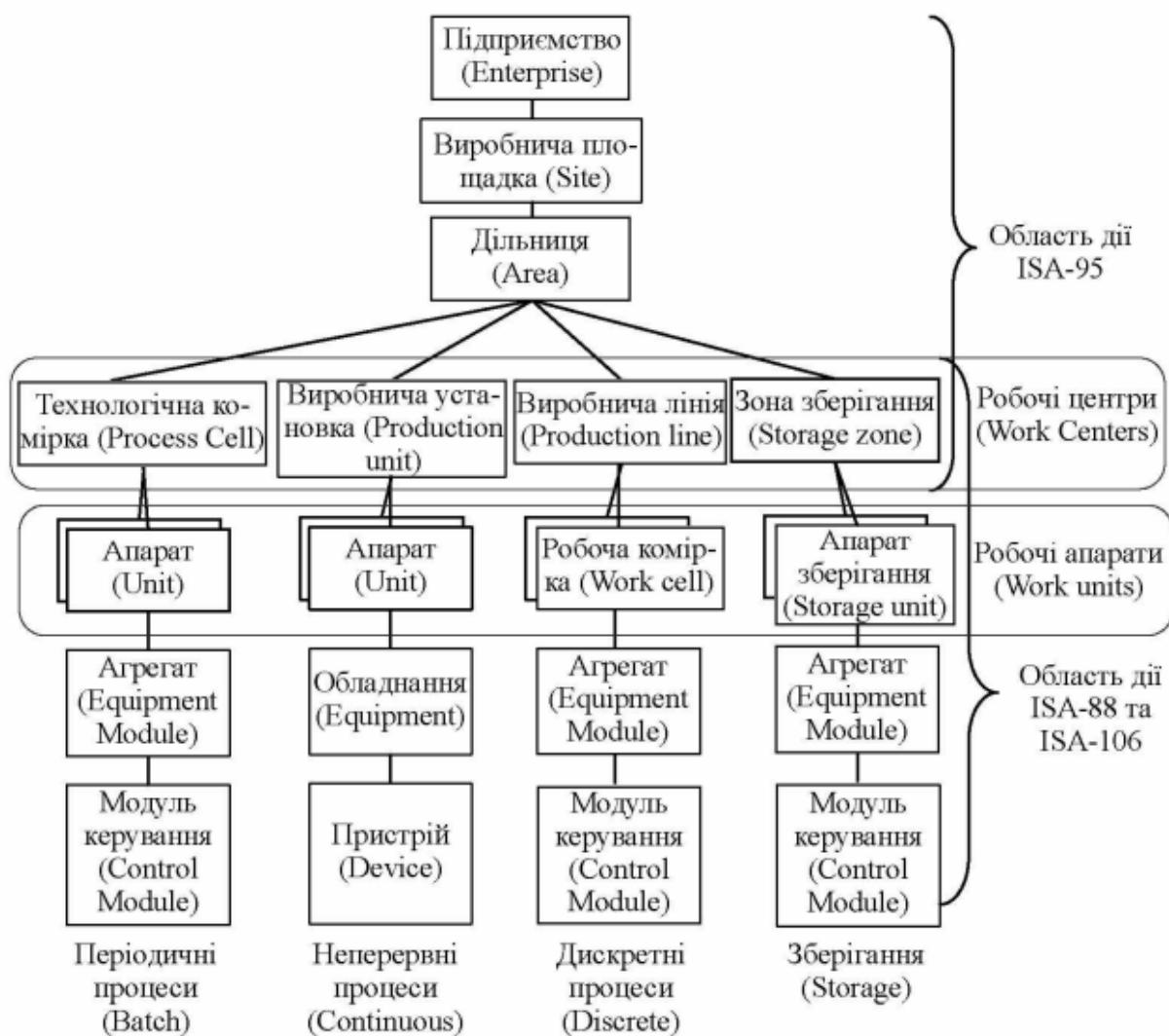


Рис. 2.5 Загальна ієрархічна модель обладнання для ISA-95 та ISA-88

Таблиця 2.2. Области дії ISA-95

Назва	Означення
Рівень підприємства (Enterprise level)	виробничий комплекс, що відповідає за певну номенклатуру виробів, які випускаються.
Рівень виробничої площадки (Site level)	група об'єднаних об'єктів що забезпечують виробництво певного набору видів продукції згідно календарного плану.
Рівень ділянки (Area level)	група об'єктів в рамках виробничої площадки, що забезпечує виробництво певних видів продукції згідно виробничої потужності.
Рівень робочих центрів (Work Center level)	технологічна комірка (Process Cell) для періодичних процесів, виробнича установка (Production Unit) для неперервних чи виробнича лінія (Production Line) для дискретних

Виробничий вузол (Production Unit) як правило, включає все технологічне устаткування, що необхідне для сегменту неперервного виробництва, котре працює відносно автономно. Він, як правило, перетворює, відокремлює або реагує на один або кілька вхідних матеріалів для виготовлення проміжних або кінцевих продуктів.

Виробничі лінії (Production Line) та робочі комірки (Work Cell) використовуються для дискретних виробничих процесів. Робочі комірки зазвичай виділяються лише тоді, коли є гнучкість у маршрутизації матеріальних потоків всередині виробничої лінії. Виробничу лінію часто виділяють за ознакою основного технологічного процесу.

Технологічні комірки (Process Cell) та технологічні вузли (Unit) використовуються для проведення технологічних процесів порційного виробництва. Якщо існує достатня гнучкість для маршрутизації продукту в межах технологічної комірки, тоді

для рівня MOM також означаються і технологічні вузли. Вони мають чітко означені виробничі продуктивності та потужності порційного виробництва, котрі використовуються функціями третього рівня.

Зони зберігання (Storage Zone) та вузли зберігання (Storage Unit) належать до технологічного устаткування найнижчого рівня, що відповідає за зберігання та рух матеріалів. Зона зберігання зазвичай забезпечує отримання, зберігання, повернення, рух та відвантаження матеріалів. Вузли зберігання, як правило, знаходяться на більш низькому рівні ієрархії, ніж зона зберігання.

В роботі мною було розроблено окремі схеми ієрархічної моделі обладнання для цукрового заводу для верхніх та нижніх трьох рівнів.

Перше верхні рівні представлені на рисунку 2.6.

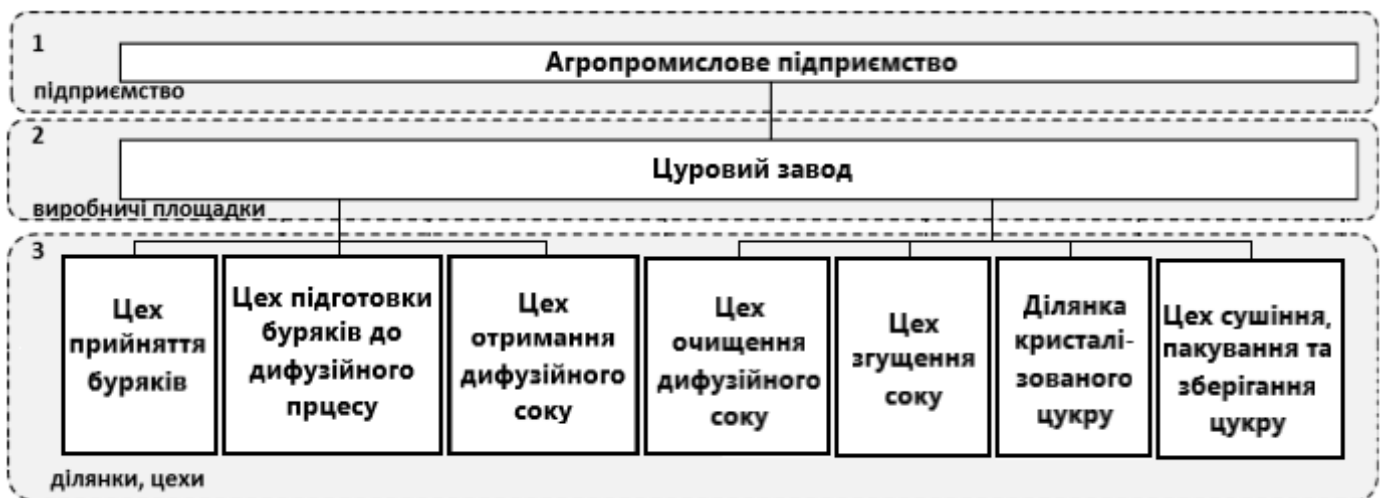


Рис. 2.6 Верхні рівні (1-3) ієрархічної моделі обладнання цукрового заводу відповідно до ISA-95

На рисунку 2.7 зображені 4-6 рівнів ієрархічної моделі обладнання для виробництва цукру з розширеним оглядом на 5 та 6 рівнів відділення очистки дифузійного соку.



Рис. 2.7 Нижні рівні (4-6) ієрархічної моделі обладнання лінії виробництва цукру відповідно до ISA-95/106

2.3. Функціональна структурна схема

Функціональна структура будується на підґрунті вихідних даних, котрі становлять собою вже відомі особливості та характеристики об'єкта та вимог до нього.

Опис ознак функціональної структури зобов'язана містити схему функціональної структури та описування автоматизованих функцій, котрі в свою чергу мусять втілюватися системою та розбиватися на певну кількість взаємозалежних інформаційними зв'язками під функцій, у згоді їх здійснення на деяких окремих технічних засобів.

Нижче наведена функціональна структура виробництва цукру з основним та суміжним відділенням. Основне, відповідно до мого завдання, являється дефекосатураційне відділення, а наступним – відділення випарювання.

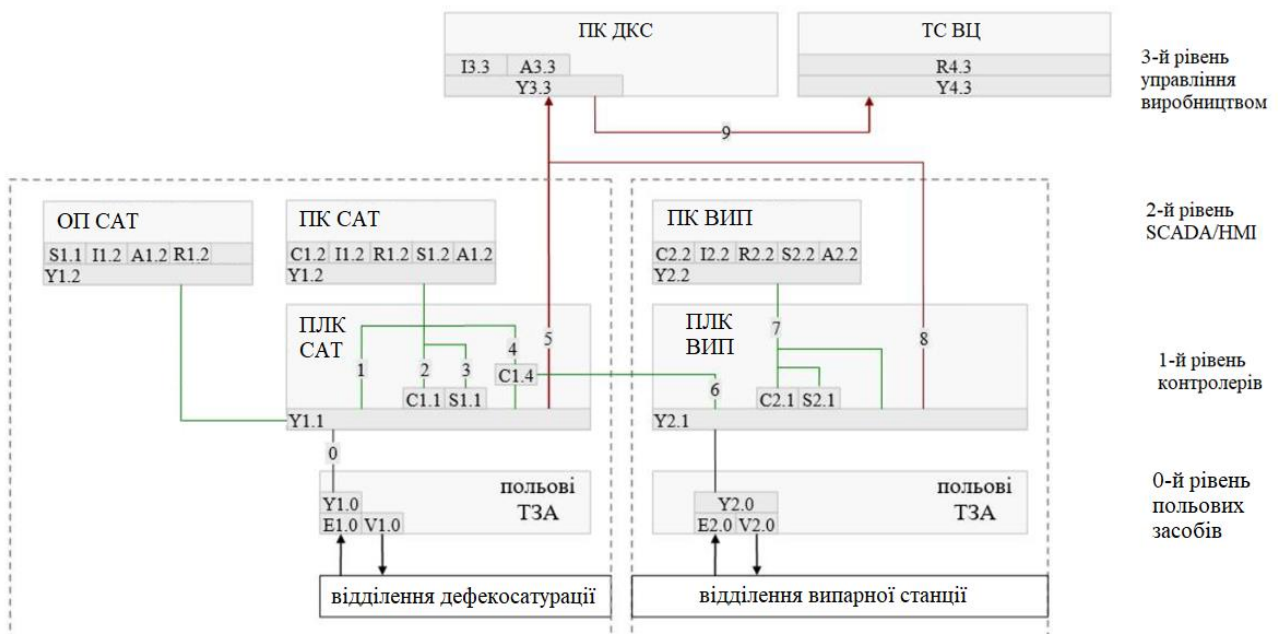


Рис. 2.8 Функціональна структура інтегрованої АСУ виробництва цукру

Дана схема побудована у вимог, щодо зберігання ієрархічності рівнів управління. Тобто 0-й (нижній) рівень – рівень польових засобів, 1-й – рівень контролерів, 2-й рівень – рівень SCADA/HMI, 3-й рівень – рівень управління виробництвом.

Таблиця 2.3. Умовні позначення до схеми функціональної структури

Позначення	Найменування
польові ТЗА	технічні засоби автоматизації, які відносяться до польового рівня
ПЛК САТ	мікропроцесорний контролер для відділення дефекосатурації
ПЛК ВИП	мікропроцесорний контролер для відділення випарної станції
ПК САТ	АРМ оператора відділення дефекосатурації (на базі комп'ютера)
ПК ВИП	АРМ оператора відділення випарної станції (на базі комп'ютера)
ОП САТ	операторська панель відділення дефекосатурації
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
У	перетворення та обробка інформації
НС2	автоматизоване регулювання, управління технологічним процесом
C1.1, C2.1	автоматизоване регулювання, управління технологічним процесом
C1.4	автоматизоване управління подачею вапняного молока, діоксиду вуглецю та соку 1-ї сатурації
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

Інформаційні зв'язки між функціями та задачами дозволено зображувати у подібні стрілок, котрі демонструють напрямок передачі інформаційних даних, або ж просто лінії, якщо інформація передається в обидва боки.

2.4. Опис функцій, що автоматизуються

Опис функцій, що автоматизуються в технічному комплексі цукрового заводу з підсистемою очистки дифузійного соку на ведені у таблиці, котра знаходиться нижче.

Таблиця 2.4. Опис функцій, що автоматизуються

№	Машина, агрегат, установка	Параметр, місце відбору сигналу	Допустиме значення параметра	Вид автоматизації	Характер контролю чи управління	Засоби управління та контролю, реалізації упр. дії
1	Трубопрвід подачі дифузійного соку	Витрата	300 м ³ /год	Контроль	Відображення, реєстарція	АРМ оператора
		Температура	45 ⁰ С	Регулювання	Управління	Вплив на клапан подачі пари
2	Перед-дефекатор	рН	11.2 од.рН	Регулювання	Стабілізація	Вплив на клапан подачі вапняного молока
3	Трубопровід подачі вапняного молока	Витрата	3 м ³ /год	Контроль	Відображення, реєстарція	АРМ оператора
		Витрата	6 м ³ /год	Контроль	Відображення, реєстарція	АРМ оператора
		Витрата	9 м ³ /год	Контроль	Відображення, реєстарція	АРМ оператора
4	Трубопровід нефільтрованого соку	Температура	80 ⁰ С	Регулювання	Управління	Вплив на клапан подачі пари

Продовження таблиця 2.4.

5	I сатуратор	pH	12 од.pH	Регулювання	Стабілізація	Вплив на клапан подачі сатураційного газу
6	Збірник нефільтрованого соку	Рівень	Верхній та нижній	Контроль	Відображення, реєстарція, сигналізація	АРМ оператора
7	Трубопровід фільтрованого соку	Температура	90 ⁰ С	Регулювання	Управління	Вплив на клапан подачі пари
8	II сатуратор	pH	9,5 од.pH	Регулювання	Стабілізація	Вплив на клапан подачі сатураційного газу
9	Збірник фільтрованого соку	Рівень	Верхній та нижній	Контроль	Відображення, реєстарція, сигналізація	АРМ оператора
10	Трубопровід подачі сатураційного газу	Тиск	50 кПа	Контроль	Відображення, реєстарція, сигналізація	АРМ оператора

2.5. Структурна схема комплексу технічних засобів

Структурна схема комплексу технічних засобів виконуються для ІАСУ загалом. Розробка структурної схеми, вибір технічних засобів верхніх рівнів управління та комунікаційних модулів ПЛК та РІО має розроблятися на підставі вихідних даних, котрі наведені в таблиця, яка зазначена нижче.

Таблиця 2.5. Дані на базі котрих створюється 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, РІО та польовими засобами	схема автоматизації
характеристики промислових мереж	навчальна та довідникова література по промисловим мережам
характеристики мережних засобів вузлів	каталоги фірм-виробників ТЗА

Як правило, вигляд структурної схеми КТЗ формується у вигляді ієрархічної трирівневої системи.

Загальний вигляд структурної схеми комплексу технічних засобів управління технологічним процесом наведено на рис. 2.9.

Устаткування нижнього рівня здійснює збирання вихідної технологічної інформації, передачу команд до об'єктів управління, перевірку достовірності, організацію оперативних блокувань управління роз'єднувачами, автоматизоване управління та ін.

Обладнання середнього рівня забезпечує інформаційні зв'язки пристроїв нижнього та верхнього рівнів, обробку даних від пристроїв нижнього рівня, а також тимчасову синхронізацію пристроїв та інших систем, що інтегруються.

Обладнання верхнього рівня вирішує завдання зв'язку персоналу з АСУ ТП, зберігання та візуалізації інформації.

Таблиця 2.6. 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 САТ	ПК оператора відділення дефекосатурації	1	Процесор Intel Core i3-12100F, RAM 8192 MB
ПК ВИП	ПК оператора випарної станції	1	Вже експлуатується Процесор Intel Core i3-12100F, RAM 8192 MB
ОП САТ	Операторська панель відділення дефекосатурації	1	HMISTO735
ПЛК САТ	Програмований логічний контролер відділення дефекосатурації	1	Modicon M340 BMX P34 2020 з ком. модулем BMX NOM 0200
ПЛК ВИП	Програмований логічний контролер випарної станції	1	Вже експлуатується Modicon M340 BMX P34 2020 з ком. модулем BMX NOM 0200
RIO	Модуль віддаленого вводу-виводу	2	Advantys OTB
PDS1-PDS2	Частотний перетворювач	2	Lenze SMD 380
SWITCH	Ethernet комутатор	1	D-Link DES-1008D/PRO

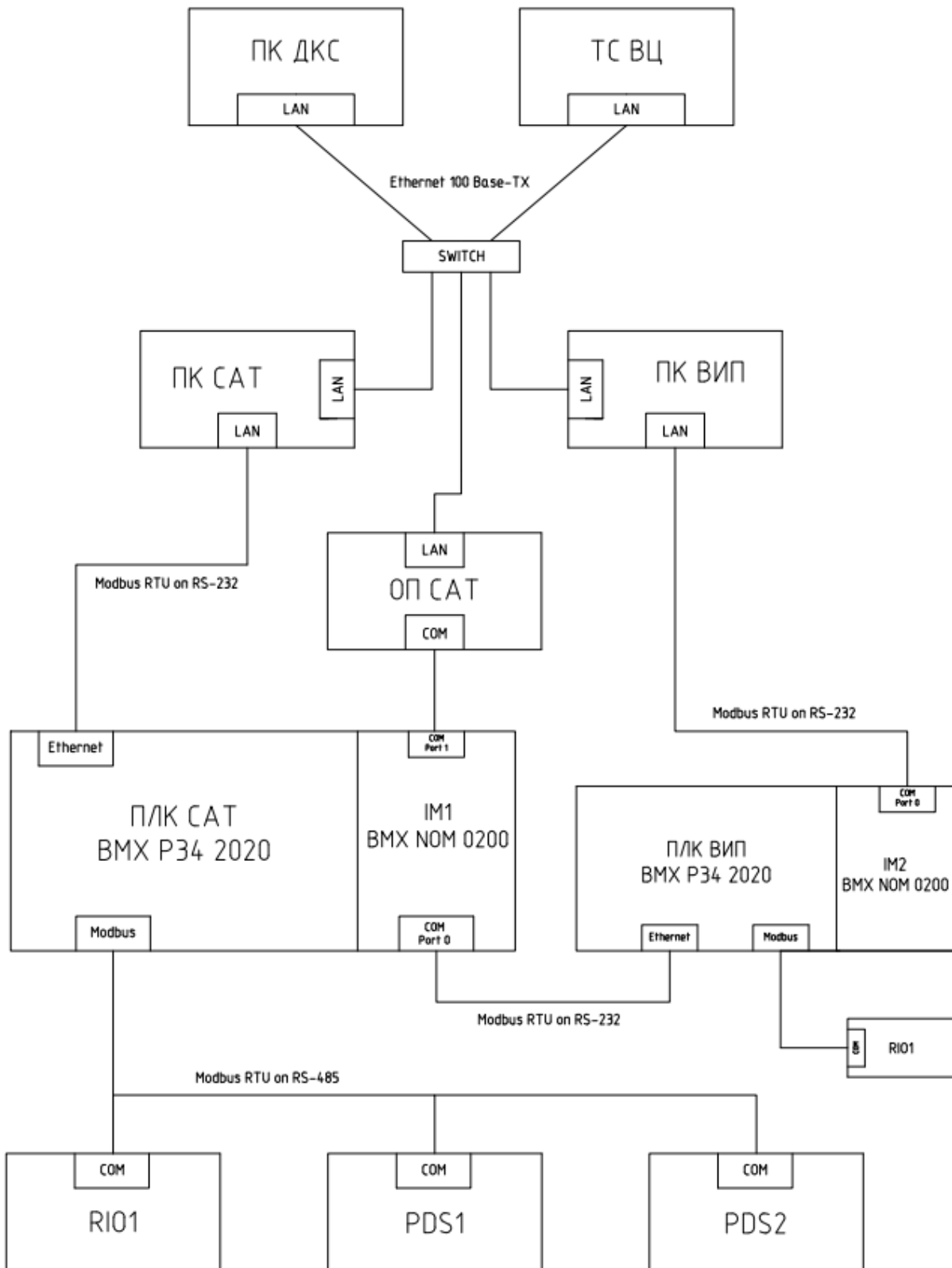


Рис. 2.9. Структурна схема комплексу технічних засобів АСУ ТП виробництва

2.6. Опис інформаційного забезпечення АСУ ТП виробництва та основного відділення

В даному пункті я відобразила організацію та передачу інформаційного збору на рівні інтегрованої АСУ виробництвом (виробництво цукру-піску) та АСУТП основного відділення (відділення очистки дифузійного соку).

Таблиця 2.7. 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

Інформаційне забезпечення автоматизованих систем управління – це сукупність єдиної системи класифікації й кодування техніко-економічної інформації, уніфікованих систем документації й масивів інформації, що використовуються в автоматизованих системах управління.

Сутність інформаційного забезпечення полягає в інформаційному відображенні умов, стану й результатів виробничого процесу, обміні інформацією між органом і об'єктом управління для регулювання його діяльності.

Склад інформаційного забезпечення: інформаційне забезпечення автоматизованих систем управління, інформаційна система АСУ, програмне забезпечення інформаційної системи, системний аналіз інформаційного забезпечення, аналіз системи інформаційного забезпечення по напрямках, аналіз циркуляції інформації, оцінки раціональності побудови потоків інформації, програмно-математичне забезпечення.

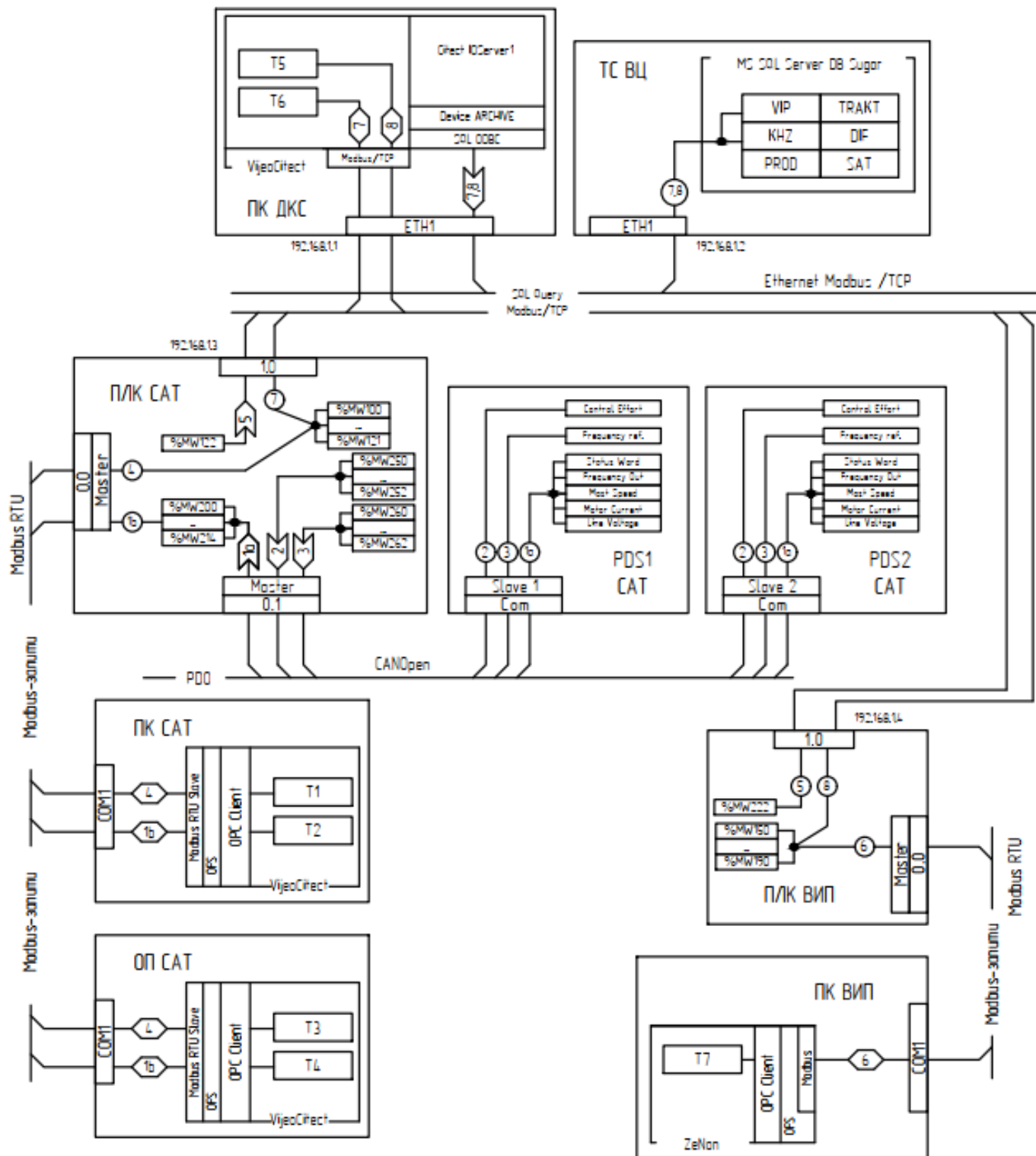


Рис. 2.10 Інформаційна структура мережі

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 очистки дифузійного соку зображує наступні дії:

- подачу та контроль витрати дифузійного соку, що надходить в переддефекатор;
- стабілізація температури в трубопроводі дифузійного соку, котре йде на переддефекатор;
- регулювання рН соку клапаном подачі вапняного молока в третю секцію переддефекатора;
- подачу та контроль кількості вапняного молока, котре подається на холодний ступінь дефекації;
- управління двигуном для подачі дифузійного соку на гарячий дефекатор з попередньою стабілізацією його температури за допомогою подачі пари в підігрівник;
- регулювання рН соку I сатурації клапаном подачі сатураційного газу;
- контроль рівня в збірнику нефільтрованого відсатурованого соку після I сатурації ввімкненням клапану його подачі на фільтрувальне обладнання
- стабілізацію тиску в трубопроводі сатураційного газу
- подачу відфільтрованого соку для подальшої сатурації за допомогою управління двигуном;
- контроль витрати вапняного молока, котре подається на гарячий ступінь дефекації перед II сатурацією;
- регулювання рН соку II сатурації клапаном подачі сатураційного газу;

- контроль рівня в збірнику фільтрованого відсатурованого соку після II сатурації ввімкненням клапану його подачі на кінцеве фільтрувальння перед випарюванням.

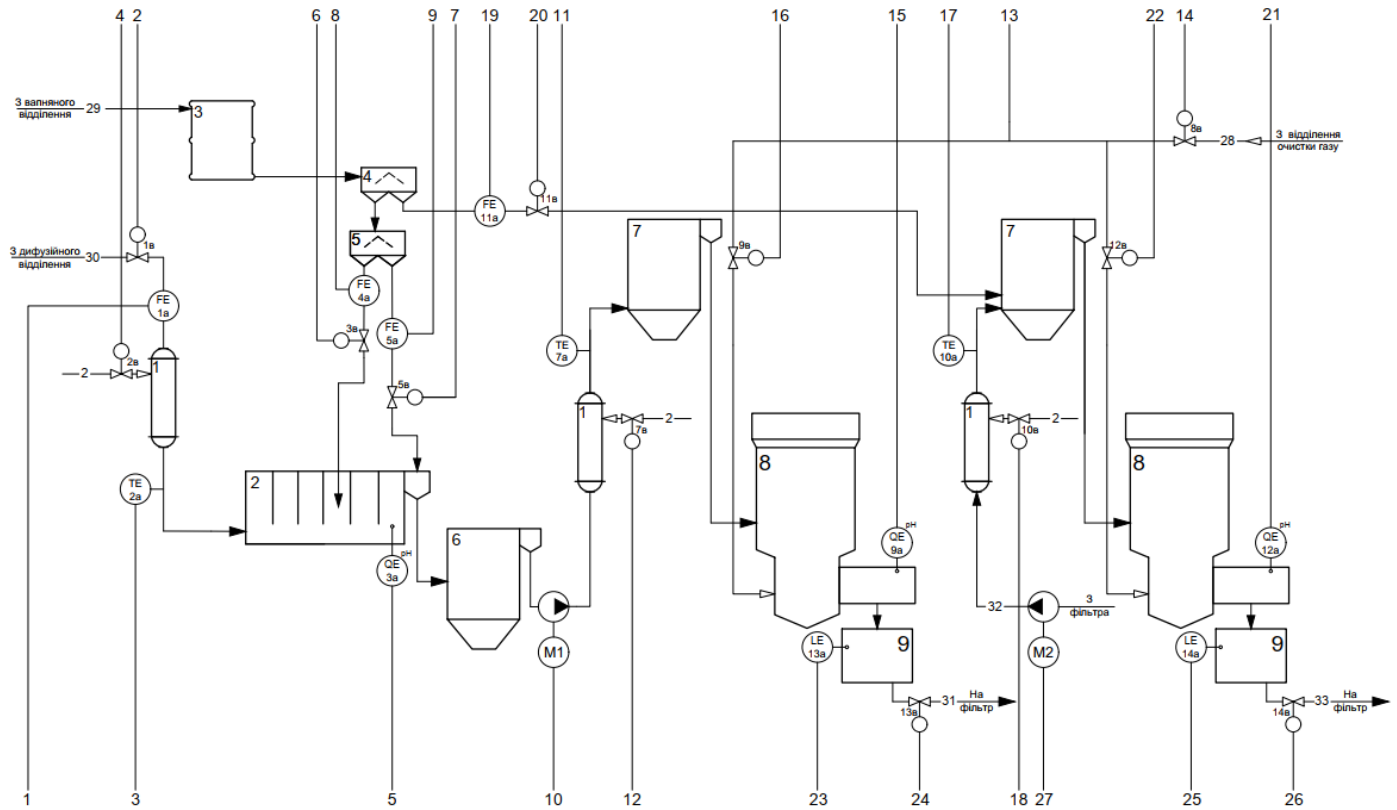


Рис. 3.1. Функціональна схема автоматизації технічним комплексом цукрового заводу з підсистемою очистки дифузійного соку

Контур контролю витрати дифузійного соку та вапняного молока вміщує в себе витратомір-лічильник з овальними шестернями **Kobold DOM-A60HFC** (поз. 1а, 4а, 5а, 11а), котрий умонтований в сам трубопровід. Принцип вимірювання витрати відбувається за допомогою проходження дифузійного соку (аналогічно і для вапняного молока) через порожнину, де розміщуються овальні шестерні, котрі здійснюють оберт навколо осі, кожний цілий оберт – це 1 дискретний імпульс. Витратомір під’єднується на дискретний вхід вибраного контролера. Подачу дифузійного соку та вапняного молока на переддефекатор здійснюють клапаном **ARI-STEVI SMART 440** (поз. 1в,

3в, 5в) та вапняного молока, що подається на гарячий дефекатор перед II сатурацією (поз. 11в)

Температура дифузійного соку в трубопроводах перед дефекатором, гарячою дефекацією перед II сатурацією та після холодного ступеня дефекації стабілізується та контролюється за рахунок термометру опору **SITRANS TF2** (поз. 2а, 10а, 7а). Даний прилад має діапазон вимірювання $-50...+200^{\circ}\text{C}$, котрий дає можливість його застосування для всіх випадків вимірювання, та вихідний уніфікований сигнал $4...20\text{mA}$. Для перетворення вимірювального сигналу застосовується електропневматичний перетворювач **Sentronic LP серії 617 ASCO Numatics** (поз. 2б, 10б, 7б), котрий на виході формує пневматичний сигнал $20...100\text{kPa}$ для виконавчого механізму – клапану подачі пари **ARI-STEVI SMART 440** (поз. 2в, 10в, 7в) в підігрівник.

Контур регулювання та контролю рН соку відбувається за допомогою цифрового датчика **Orbisint CPS11D-7BA21** та вторинного вимірювального перетворювача **Liquiline CM442** (поз. 3а, 9а, 12а). Прилад вимірювання рН соку на виході має уніфікований сигнал $4...20\text{mA}$. Для перетворення вимірювального сигналу застосовується електропневматичний перетворювач **Sentronic LP серії 617 ASCO Numatics** (поз. 3б, 9б, 12б), котрий на виході формує пневматичний сигнал $20...100\text{kPa}$ для виконавчого механізму – клапану подачі вапняного молока на переддефекатор **ARI-STEVI SMART 440** (поз. 3в) та клапану подачі сатураційного газу на I та II сатурацію **ARI-STEVI SMART 440** (поз.9в, 12в).

Контроль тиску в трубопроводі сатураційного газу відбувається за рахунок перетворювача тиску **Sitrans P500** (поз. 8а), котрий має вихідний уніфікований сигнал $4...20\text{mA}$. Подачу сатураційного газу, який містить CO_2 , в трубопровід відбувається з відділення очистки газу за допомогою клапану **ARI-STEVI SMART 440** (поз. 8в). Даний датчик, в своїй конструкції, має вбудований пристрій, котрий має можливість

відображення значення та навіть графіки та діаграми зміни параметрів для зручного моніторингу процесу.

Рівень в збірниках з невідфільтрованим соком після I сатурації та соком після II сатурації простежується за рахунок ємнісного сигналізатора реле рівня серії **ECASm 101** (поз. 13а, 14а). При звуковій та світловій сигналізації спрацювання датчика відбувається відведення рідини до відповідного подальшого очищення за рахунок клапану **ARI-STEVI SMART 440** (поз. 13в, 14в) та електропневматичний перетворювач **Sentronic LP серії 617 ASCO Numatics** (поз. 13б, 14б).

У контурі подачі дифузійного соку на гарячий ступінь дефекації після холодного дефекатора виконується за рахунок асинхронного двигуна **AIP 132 S4**, управління яким виконується за допомогою **VLT Micro Drive FC-05** (поз. 6б) через блок **БРУ-17** (поз. 6а). Керуючий сигнал надходить з модуля аналогових виходів контролера. Для аварійного захисту трифазного асинхронного двигуна **AIP 132 S4** також вмонтована грибокподібна кнопка **LAY5-BT42** (поз. SB1) для екстреної зупинки.

Таким же чином виконується подача відфільтрованого соку на гарячий дефекатор перед II сатурацією. № позначення на схемі зображуються у відповідності до таблиці специфікації засобів автоматизації.

Таблиця 3.1. 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	По місцю	Ємнісний сигналізатор реле рівня	ECASm 101	2	ENSIM Sensors Туреччина
2	2а, 7а, 10а	По місцю	Термометр опору Pt100 з ініфікованим вихідним сигналом 4...20мА та діапазоном вимірювання -50...+200°C. Живлення 24В.	SITRANS TF2	3	Siemens AG Німеччина
3	8а	По місцю	Вимірювальний перетворювач тиску з уніфікованим вихідним сигналом 4...20мА з протоколом HART. Живлення 24В	SITRANS P500	1	Siemens AG Німеччина
4	1в, 2в, 3в, 5в, 7в, 8в, 9в, 10в, 11в, 12в, 13в, 14в	По місцю	Виконавчий пневматичний механізм . Ржив.=140кПа, Рвих.=20-100кПа	ARI-STEVI SMART 440	12	Агі-Armaturen Німеччина
5	1а, 4а, 5а, 11а	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 A60HFC	4	KOBOLD Messring GmbH Німеччина
6	3а, 9а, 12а	По місцю	Цифровий датчик з гелевим контактним електродом з PEFC кільцевою діафрагмою та вторинний вимірювальний перетворювач для вимірювання рН з уніфікованим вихідним сигналом 4...20мА	Orbisint CPS11D-7BA21 + Liquiline CM442	3	Endress Hauser Швейцарія

Продовження таблиця 3.1

7	6а, 15а	На щиті	Блок ручного управління для перемикання на ручне керування. Вихідний сигнал 4...20мА, $R_{вх.}=100 \text{ Ом}$, $R_{вих.}\leq 500 \text{ Ом}$	БРУ-17	2	Мікрол Україна
8	16, 26, 36, 56, 76, 86, 96, 106, 116, 126, 136, 146	На щиті	Електропневмематичний перетворювач. Перетворює пропорційний електричний сигнал 4...20мА або 0-10В в пропорційний пневматичний сигнал 20-100кПа, $R_{ж}=140\text{кПа}$	ASCO Numatics Series 617 Sentronic LP	12	Emerson США
9	66, 156	На щиті	Перетворювач частоти. Потужність 7.5кВт. Живлення 380В	VLT Micro Drive FC- 051	2	Danfoss Данія
10	M1, M2	По місцю	Трифазний асинхронний двигун, потужність 7.5кВт 1500 об/хв. Живлення 380 В,	AIP 132 S4	2	UA-MOTOR Україна
11	SB1,SB2	По місцю	Кнопка з фіксацією, гробкоподібна. Номінальне робоче навантаження 110/230/600 В	LAY5-BT42	2	ІЕК Україна

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

Датчик вимірювання рН

Для вимірювання рН дифузійного соку в переддефетарорі, I та II сатураторах я обрала датчик Orbisint CPS11D.

Orbisint CPS11D – універсальний цифровий датчик технологічних процесів та середовищ. Дозволяє проводити надійні вимірювання навіть у високолужних середовищах та вибухонебезпечних зонах. Його електрод, спроектований для зменшення трудовитрат на технічне обслуговування та продовження терміну служби, що забезпечує відмінне поєднання ціни та якості.



Рис. 3.2. Зовнішній вигляд датчик Orbisint CPS11D-7BA21

Принцип вимірювання. Значення рН використовується як одиниця вимірювання кислотності або лужності рідкого середовища. Скло мембрани електрода забезпечує електрохімічний потенціал, який залежить від значення рН середовища. Цей потенціал створюється селективним проникненням іонів H^+ через зовнішній шар мембрани. У цій точці утворюється електрохімічний прикордонний шар з електричним потенціалом. Інтегрована система порівняння $Ag/AgCl$ служить електродом порівняння.

Важливі властивості CPS11D:

1. Максимальна безпека процесу.

Індуктивна та безконтактна передача вимірюваних значень Memosens гарантує максимальну безпеку процесу та пропонує такі переваги:

- Всі проблеми, викликані вологою, усуваються.
 - Штекерне з'єднання не має корозії.
 - Спотворення вимірюваного значення через вологість неможливе.
 - Роз'ємну систему можна підключити навіть під водою.
- Передавач гальванічно розв'язаний із середовищем.
- Кабель не працює як антена. Таким чином, безпека електромагнітної сумісності гарантована.

2. Безпека даних через цифрову передачу даних.

Технологія Memosens оцифровує виміряне значення в датчику та передає його на передавач через безконтактне підключення. Результат:

- Автоматичне повідомлення про помилку генерується, якщо датчик виходить з ладу або з'єднання між датчиком і передавачем переривається.
- Доступність точки вимірювання значно підвищується за рахунок негайного виявлення помилок.

- Цифрові сигнали придатні для застосування в небезпечних зонах; вбудована електроніка є іскробезпечною.

3. Легке поводження.

Датчики з технологією Memosens мають інтегровану електроніку, яка дозволяє зберігати дані калібрування та іншу інформацію, таку як загальна кількість годин роботи та години роботи за дуже низьких або дуже високих значень рН.

Коли датчик встановлено, дані калібрування автоматично передаються на передавач і використовуються для обчислення поточного значення рН: Зберігання даних калібрування в датчику дозволяє калібрувати та налаштовувати далеко від точки вимірювання. Результат:

- Датчики рН можуть бути відкалібровані за оптимальних зовнішніх умов у вимірювальній лабораторії. Вітер і погода не впливають ні на якість калібрування, ні на оператора.
- Доступність точки вимірювання значно підвищується завдяки швидкій і легкій заміні попередньо відкаліброваних датчиків.
- Передавач не потрібно встановлювати поблизу точки вимірювання, його можна розмістити в диспетчерській.
- Інтервали технічного обслуговування можна визначити на основі всіх збережених даних про навантаження датчика, а також можливе калібрування та прогнозне обслуговування.
- Історія датчика може бути задокументована на зовнішніх носіях даних і програмах оцінки в будь-який час. Таким чином, поточне застосування датчиків може залежати від їх попередньої історії.

4. Зв'язок з передавачем

Завжди підключайте CPS11D до передавача з технологією Memosens. Передача даних на стандартний передавач неможлива.

Таблиця 3.2. Характеристики датчик Orbisint CPS11D

Діапазон вимірювання	pH від 0 до 14
Принцип вимірювання	Гелевий компактний електрод з PTFE кільцем-діафрагмою
Матеріал	Скло і PTFE
Температура процесу	від 0 до 135 °C (від 32 до 275 °F)
Тиск процесу	від 1 до 17 бар (від 15 до 246 psi)
Температурний сенсор	NTC 30 тис
Підключення	Індуктивна цифрова з'єднувальна головка з технологією Memosens
Захист Ingres	IP68

Повна вимірювальна система включає:

- pH цифровий датчик CPS11D
- Передавач, напр. Liquisys M CPM223/253 (з технологією Memosens для CPS11D)
- Спеціальний вимірювальний кабель, напр. Кабель для передачі даних СРК9 або Memosens СУК10
- Занурювальний, проточний або висувний вузол, напр. Cleanfit P CPA472



Рис. 3.3. Приклад вимірювальної системи для вимірювання pH

Вторинний вимірювальний перетворювач

Для повної вимірювальної системи вимірювання рН я також підбрала цифровий багатопараметричний перетворювач для контролю та управління процесами, а саме перетворювач Liquiline CM442.

Єдиний прилад для всіх параметрів та областей застосування, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача, автоматичне розпізнавання датчиків, оперативне підключення попередньо відкаліброваних датчиків Memosens за принципом "plug & play".



Рис. 3.4. Зовнішній вигляд вторинного вимірювального перетворювача Liquiline CM442

Переваги даного приладу вторинного вимірювального перетворювача Liquiline CM442 є:

1. Висока гнучкість: універсальні модулі для всіх параметрів дозволяють мінімізувати наявність запасних частин та легко розширювати систему до 8 каналів у час.

2. Безшовна системна інтеграція :унікальний набір стандартів зв'язку забезпечує підключення до будь-яких систем управління.

3. Просте та безпечне введення в експлуатацію: збереження конфігурації на карті SD дозволяє швидко виконувати установку однакових приладів.

4. Дистанційний контроль процесу: вбудований веб-сервер дозволяє оператору віддалено переглядати дані діагностики, виконувати конфігурування або отримання доступу до параметрів приладів через будь-який веб-браузер, у тому числі на смартфоні.

5. Висока надійність, низькі витрати: технологія Heartbeat дозволяє проводити техобслуговування виходячи зі стану приладу, спрощує перевірку всієї точки вимірювання та допомагає здійснювати заходи щодо оптимізації.

Таблиця 3.3. Загальна характеристика Liquiline CM442

Вхідні сигнали	1...2 цифрових входів Memosens, 2 входи 0/4...20 мА (опція), 2 цифрові входи (опція)
Вихідні сигнали	2...8x 0/4...20 мА, аварійне реле, Profibus DP, Modbus RS485, Modbus TCP, Ethernet
Робоча температура	-20...+60°C
Ступінь захисту	IP66/IP67
Пластичний корпус	PC-FR
Ущільнення корпусу	EPDM



Рис. 3.5. Підключення через HART протокол

Витратомір-лічильник з овальними шестернями

Для вимірювання та контролю використання дифузійного соку та вапняного молока я використала витратомір-лічильник з овальними шестернями Kobold DOM.



Рис. 3.6. Зовнішній вигляд Kobold DOM

Овальний шестерний датчик є точним замісним витратоміром, що включає пару овальних зубчастих роторів. Ці датчики здатні вимірювати потік кола чистих рідин. Витратомір може бути використаний як закритий лічильник з імпульсним виходом, здатний взаємодіяти з більшістю моніторингових та контролюючих пристроїв, або лічильник може бути оснащений такими приладами, як суматори, лічильники швидкості або контролери. Ці прилади також мають опції - виходи 4-20 мА, імпульс, сигналізація витрати і логіка групового управління.

Принцип вимірювання. Проходження рідини приводить до обертання двох овальних зубчастих роторів в межах вимірювальної камери, і з кожним наступним оборотом через лічильник протікає певний об'єм рідини, котрий є фіксованим.

Магніти, котрі вбудовані в ротори, утворюють на виході імпульс високої роздільної здатності. Даний імпульсний вихід може застосовуватися двома способами: перший - включений безпосередньо в процес управління та моніторингу

обладнання, другий – застосований як вхід для встановлення додаткових приладів або приладів, розміщених практично або безпосередньо на лічильник.

Таблиця 3.4. 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)

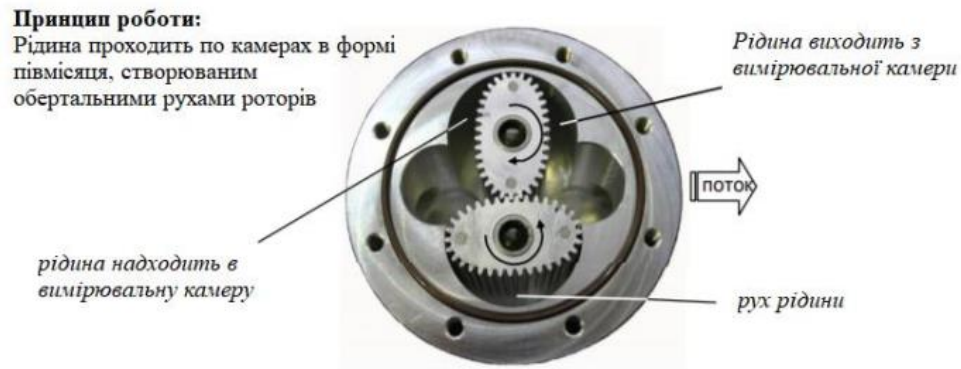


Рис. 3.7. Внутрішня будова Kobold DOM з імпульсним виходом



Рис. 3.8. Приклад експлуатації витратоміра-лічильника Kobold DOM

Датчик тиску

Для вимірювання та контролю тиску в трубопроводі з сатураційним газом я використала перетворювач тиску Sitrans P500 для безперервного вимірювання значень різниці тисків, а також інших функціонально пов'язаних з тиском фізичних величин шляхом перетворення цих значень на уніфікований аналоговий або цифровий вихідний сигнал постійного струму або напруги.

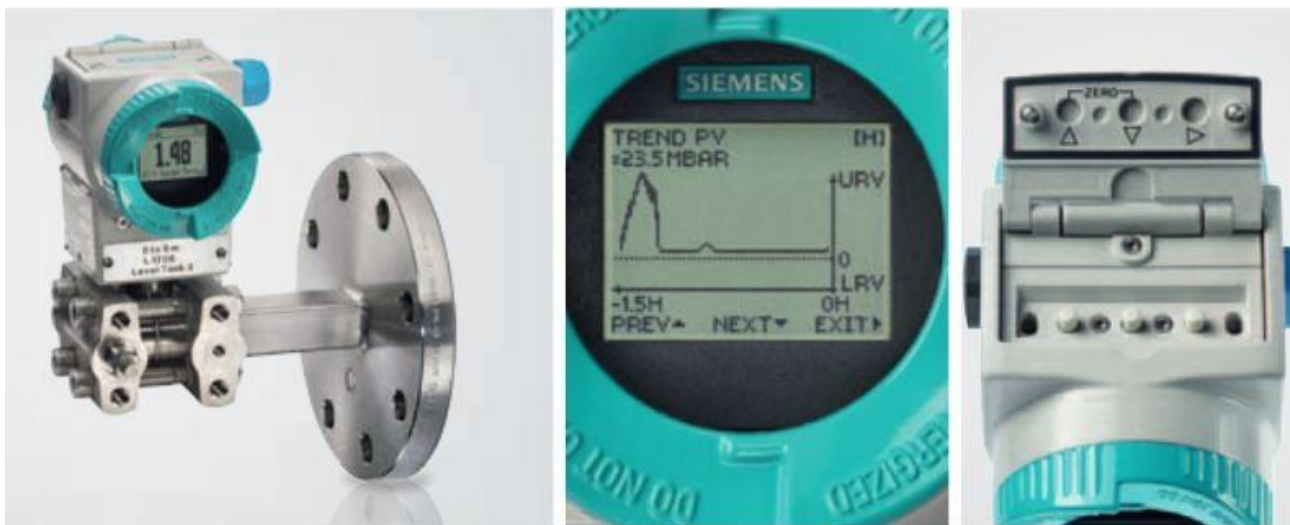


Рис. 3.9. Зовнішній вигляд датчика тиску Sitrans P500

Принцип дії перетворювачів тиску вимірювальних Sitrans P500 заснований на перетворенні п'єзорезистивним первинним перетворювачем вимірюваної різниці тисків в електричний сигнал низького рівня з подальшим перетворенням його в уніфікований струмовий вихідний сигнал або цифровий сигнал HART протоколу.

Перетворювач має внутрішню кремнієву мембрану, на яку встановлені п'єзорезистори, які з'єднані в чутливий до тиску міст Уїтстона. Зовнішні технологічні мембрани з'єднані гідравлічно з кремнієвою мембраною за допомогою відповідного рідинного заповнення. Коли перетворювач підключений до джерела живлення та на технологічні мембрани діє тиск, кремнієва мембрана відхиляється пропорційно різниці (перепаду) тиску, внаслідок чого електричний вихідний сигнал пропорційно змінюється.

Таблиця 3.5. Технічні параметри датчика Sitrans P500

Точність	≤ 0.03% (для глибини перебудови діапазону до 10)
Довготривала стабільність	0.05% за 5 років
Діапазон вимірювання	від 1 - 1.25 мбар до 0 - 32 бар
Сумарна похибка	≤ 0.09% для глибини перебудови діапазону до 10
Максимальна глибина перебудови діапазону	200:1
Температура вимірюваного середовища від	від -40 °C до 125 °C
Час відгуку на ступеневу зміну	88 мс
Підсвічування	з графічним дисплеєм
Сертифікати	ATEX, IEX EX, FM, CSA, NEPSI
Рівень повноти безпеки	SIL2 згідно IEC 61511
Матеріал корпусу	литий алюміній або нержавіюча сталь 316L
Матеріал вимірювальної мембрани	Нержавіюча сталь, Hastelloy, Tantalum, Monel
Комунікація	4 ... 20 мА з протоколом HART

Основні переваги датчику тиску Sitrans P500:

- Вдосконалене керування завдяки надзвичайно короткому часу відгуку.
- Використання з прямим підключенням за температури процесу до 125 °C (257 °F) навіть без системи виносних мембранних роздільників.
- Високий ступінь зручності використання завдяки повнотекстовому дисплею з підсвічуванням і 3 кнопками. Датчик також можна легко налаштувати і експлуатувати з використанням протоколу HART.
- Велика кількість діагностичних функцій може використовуватися без підключення програмного забезпечення. На дисплеї можуть бути відображені навіть графіки та діаграми зміни параметрів для зручного моніторингу процесу.

- Широкий спектр функцій діагностики, такі як 8 реєстраторів мінімальних і максимальних значень процесу, що відображають також час настання події.

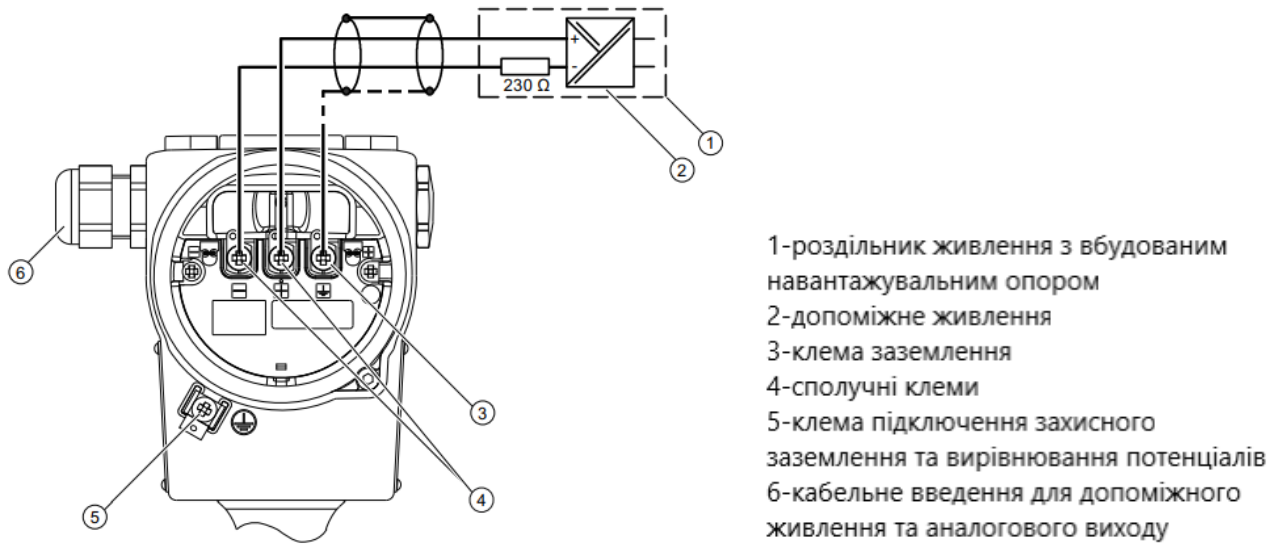


Рис. 3.10. Електрична схема підключення Sitrans P500

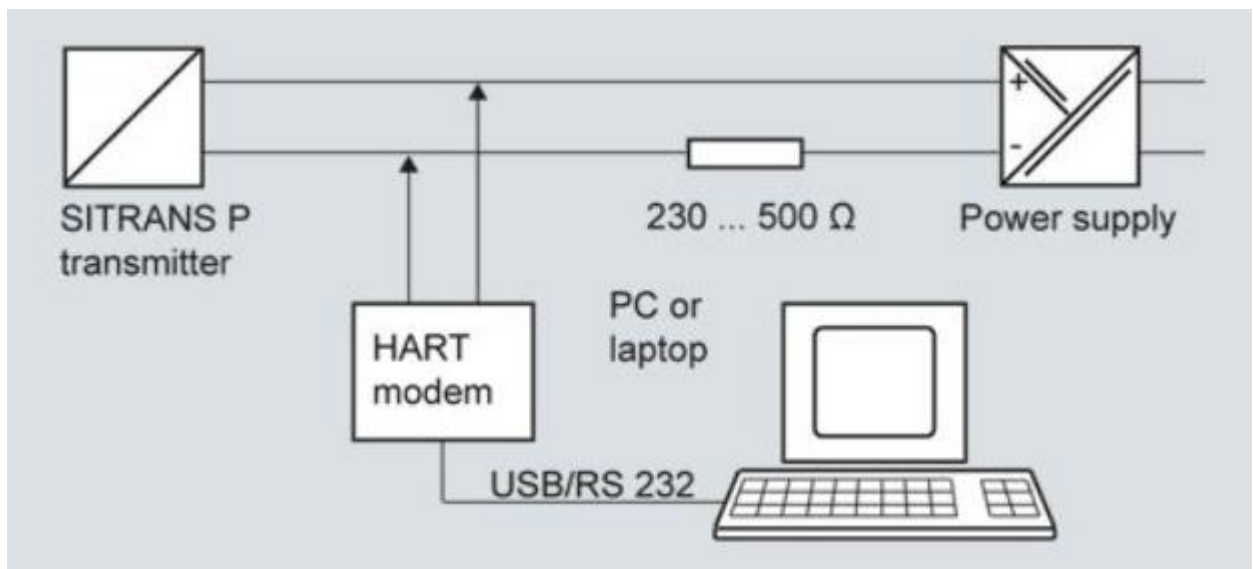


Рис. 3.11. Зв'язок по протоколу HART між комунікатором ПК і датчиком тиску

Термометр опору

Вимірювання температури термометрами опору відноситься до контактних методів і ґрунтується на властивості провідників (металів) та напівпровідників змінювати свій електричний опір в залежності від зміни їхньої температури.

Для вимірювання температури в трубопроводах, в яких пересувається дифузійний сік для повного очищення він нецукрів, мною було вибрано параметричний датчик SITRANS TF2 фірми «Siemens», котрий має цифровий дисплей для контролю та відображення вимірювально температури і також термометр опору з сенсором Pt100 для застосування у польових умовах.



Рис. 3.12. Зовнішній вигляд термометра опору SITRANS TF2

Принцип вимірювання. Зовнішній температурний датчик Pt100 отримує живлення від стабілізованого джерела струму I_k . Падіння напруги на датчику відповідає вимірюваній температурі. Аналого-цифровий перетворювач (A/D) перетворює падіння напруги у цифровий сигнал. У мікроконтролері (μC) цифровий сигнал лінеаризується та виражається у числовій формі у відповідність до даних, котрі

містяться в EEPROM. Оброблені дані відображаються на дисплеї. Крім того, значення конвертуються цифро-аналоговим перетворювачем (D/A) і перетворювачем напруги струм (U/I) в пропорційний температурі струмовий сигнал I_A (4...20 mA).

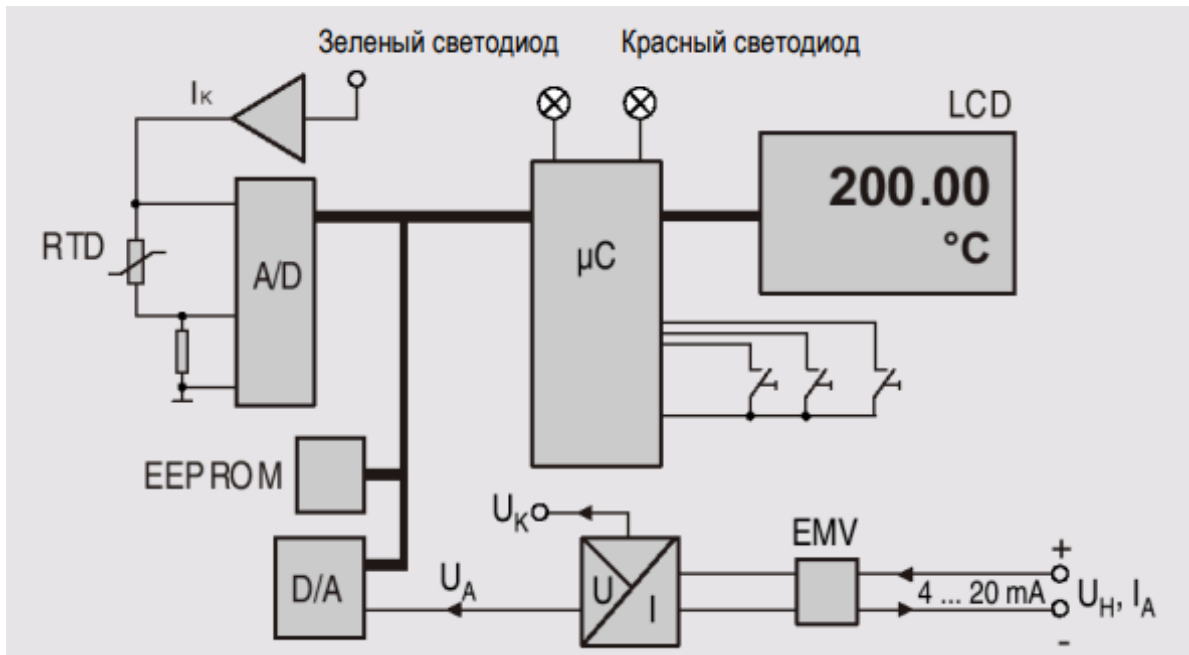


Рис. 3.13. Функціональна схема датчика температури SITRANS TF2

Основні переваги SITRANS TF2 над іншими датчиками температури:

- міцний корпус із нержавіючої сталі з двома варіантами з'єднання;
- висока точність виміру;
- точна індикація з роздільною здатністю 1/100 °C в максимальному діапазоні вимірювання;
- діапазони вимірювання, що параметруються, від -50 до +200 °C;
- на замовлення також можливі інші довжини та матеріали захисної трубки;
- захисна трубка із нержавіючої сталі з високою хімічною стійкістю;
- сигналізація порушення граничного значення на РКД, а також за допомогою червоного світлоіндикуючого діода.



Рис. 3.14. Схема підключення SITRANS TF2 до двопровідної лінії живлення

Таблиця 3.6. Технічні параметри датчика 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	50К(90 ⁰ F)
Вихід	
Вихідний сигнал	4...20 мА
Нижня межа струму	3.6 мА
Верхня межа струму	23 мА
Вихід захищений від	Нерівномірної полярності, перенапруги, короткого замикання
Максимальний опір навантаження	($U_H - 12V$)/0.023A
Характеристика	Пропорційна температура
Живлення	
Напруга на клеммах вимірювального перетворювача тиску U_H	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 рівні

Для вимірювання рівня в збірника нефільтрованого та відсатурованого соку я використала ємнісний сигналізатор реле рівня серії ECASm 101.

Ємнісний перемикач рівня ECAS - це ємнісний перемикач рівня для вимірювання рівня провідної рідини, рідини з низькою провідністю, гранульованих матеріалів із твердими частками, адгезивні матеріали, кислоти.



Рис. 3.15. Зовнішній вигляд ємнісного сигналізатора реле рівня серії ECASm 101

Переваги ємнісного сигналізатора реле рівня серії ECASm 101 являється оптимізована висота термостійкості, проста збірка, регулювання чутливості та не схильний до дії піни, бризок рідини і тд.

Таблиця 3.7. Технічні дані ємнісного сигналізатора

Живлення	24 VDC
Матеріал корпусу	Алюмінієвий сплав
Ступінь захисту	IP65
Робоча температура	Макс.150°C
Матеріал ізоляції	PFA, Опц. PTFE, Delrin, Peek, Кераміка
Вихідний сигнал	1 NONC x5 A/250VAC Relay
Електричне з'єднання	Клемне
Температура навколишнього середовища	20...+60°C
Робочий тиск	від 1 до 150 бар
Споживання живлення	Макс. 1 W
Ізоляція	П'ятсот
Максимальна сила натягнення	40 Нм

Принцип визначення ємності за умови використання двох паралельних провідних пластин.



Рис. 3.16. Принцип вимірювання ємності в резервуарі

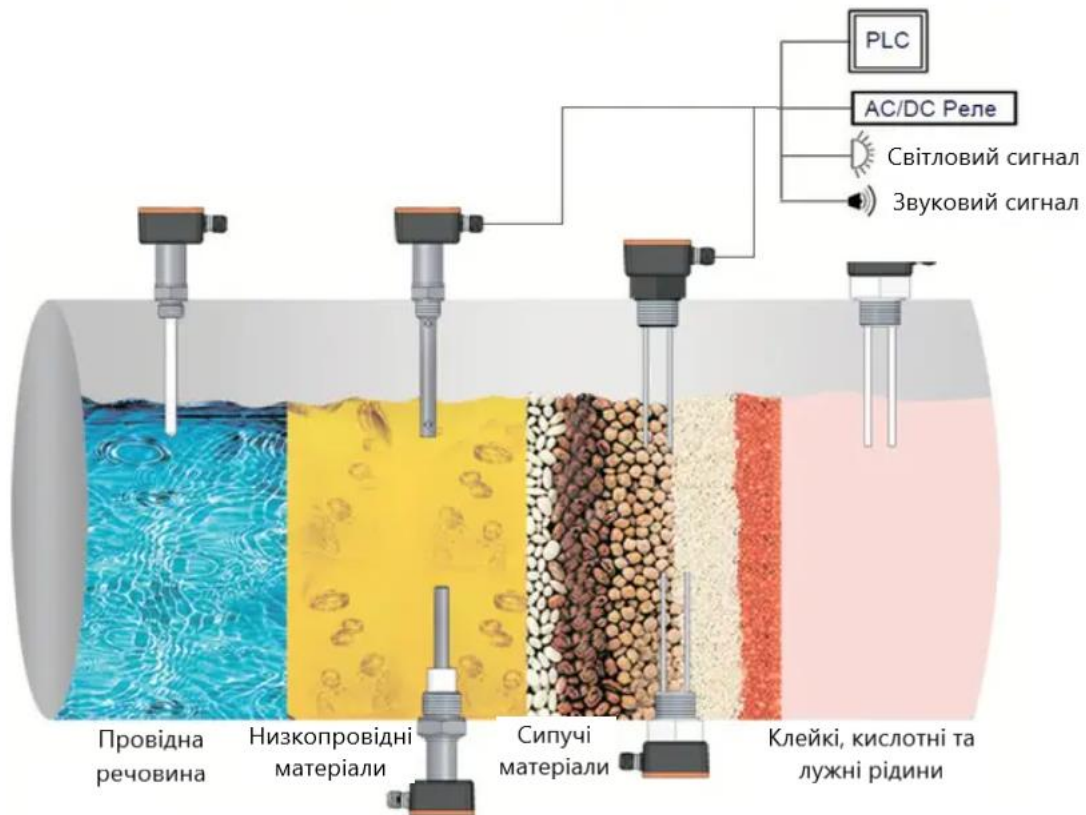


Рис. 3.17. Принцип встановлення ємнісного сигналізатора реле рівня серії ECASm 101

Ідентифікація та калібрування ємнісного сигналізатора реле рівня серії ECASm 101:

- RlyLED (Червоний): "Реле активно" під час нормальної роботи; означає, що робота продовжується під час калібрування. Блімає безперервно у нормальному режимі роботи та блимає в режимі калібрування.
- PwrLED (Зелений): Означає, що при роботі не відбувається збою датчика, і означає, що вимірні значення зберігаються в пам'яті під час калібрування. Під час коректної роботи блимає. Якщо світло світиться безперервно, це вказує на несправність.
- CAL - S Кнопка: Використовується для отримання значення діапазону верхнього рівня під час калібрування.

- SET - TRG Потенц.: Використовується для отримання рівня нуля під час калібрування.
- SET - DIF Потенц.: Регулює точку спрацьовування реле між значеннями Zero-Span.
- CAL - Z Кнопка: Регулює «Рівень розблокування» реле, що активується С/Ф. Найвище регульоване значення дорівнює половині (50%) робочої області, визначеної Z і S. Це означає, що коли DIF знаходиться на рівні 100% і реле спрацьовує, рівень для його звільнення має бути зменшений як половина загальної шкали.

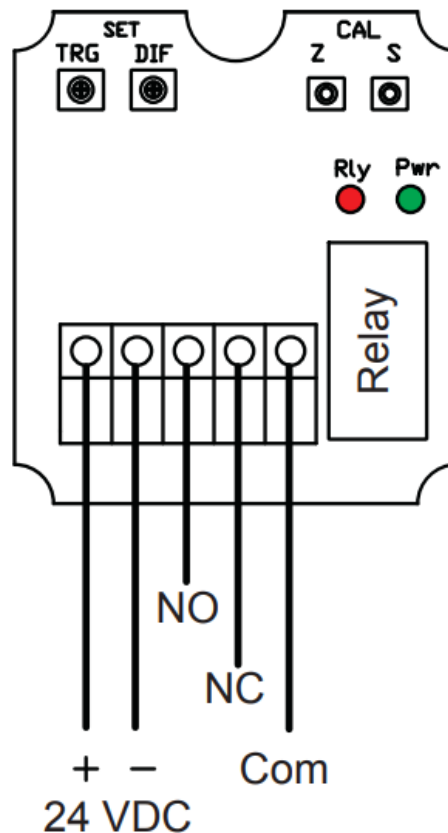


Рис. 3.18. Схема підключення ємнісного сигналізатора

Пневматичний клапан

Регулюючим органом в відділенні очистки дифузійного соку я обрала двоходоний клапан ARI-STEVI SMART 440 з сальниковим ущільненням штока

Клапани використовуються для контролю потоку рідин, газів і парів на харчових підприємствах.

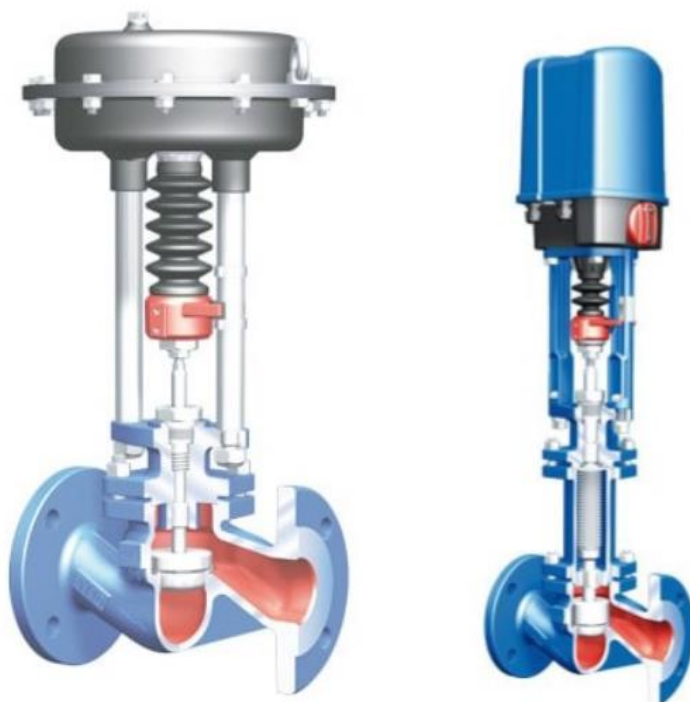


Рис. 3.19. Зовнішній вигляд клапана ARI-STEVI SMART 440

Принцип роботи даного клапана підходить для приведення в дію пневматичними або електричними приводами.

Доступні чотири типи розеток для різних застосувань:

- параболічна пробка (стандартна);
- перфорована пробка;
- вилка V-порту;
- пробка із збалансованим тиском.

Потік через регулюючі клапани завжди протилежний напрямку закриття.

У випадку регулюючих клапанів з перфорованими пробками газу та пари течуть проти напрямків закриття, а рідини протікають у напрямку закриття.

Якщо пневматичний привід буде використовуватися на прямому клапані з перфорованою пробкою, коли рідина рухається в напрямку закриття, знадобиться більша сила закриття. Це робиться для запобігання вібрації, коли пробка наближається до закритого положення.

Якщо зусилля, створювані приводами, занадто низькі, необхідно вжити заходів для скидання тиску, наскільки це сумісно з умовами експлуатації.

Основними перевагами застосування даного приладу є те, що забезпечується вимога щодо високого та точного регулювання технологічним процесом.

Таблиця 3.8. Технічні параметри клапана ARI-STEVI SMART 440

<i>Основні технологічні дані</i>	
Номинальні діаметри	DN 15...250
Номинальний тиск, бар	PN 16, 25, 40
Діапазон значень kvs	2,5...1000 м ³ /год
Діапазон регулювання	50:1
Температура робочого середовища	-60...+450
Тип затвору	Параболічний (стандарт), шліцьовий, збалансований по тиску
Приєднання	Фланцеве по стандарту DIN
Приводи	Електричні ARI - Premio, Auma, FR (з аварійною функцією) та пневматичні DP
<i>Матеріали основних вузлів</i>	
Корпус	сірий чавун EN-JL 1040, високоміцний чавун EN-JS 1049, нормалізована вуглецева сталь 1.0619+N, кислотостійка н/ж сталь 1.4408 (CrNiMo)
Внутрішні деталі (сідло, затвор, шток):	н/ж сталь 1.4021 + QT (Cr13 з загартуванням), 1.4571 (CrNiMoTi)

Трифазний асинхронний електродвигун

Електродвигуни AIP 132 S4 є асинхронними трифазними високооборотними двигунами. Їх комплектують ротором короткозамкнутого типу. Їх використовують у виробничих машинах та механізмах. Такі електродвигуни призначені для тривалого режиму роботи, під час якої рівень навантаження на двигун не зазнає суттєвих коливань.

Важливою особливістю даної моделі є здатність працювати навіть тоді, коли кількість полюсів у магнітному полі різко коливається. Швидкість обертання двигуна піддається регулюванню шляхом зміни кількості полюсів.



Рис. 3.20. Зображення зовнішнього вигляду електродвигуна AIP 132 S4

Живлення асинхронного електродвигуна AIP 132 S4 здійснюється від мережі з напругою 380 і змінним струмом частотою 50 Гц. Синхронна частота обертання досягає 1500 оборотів за хвилину при кількості полюсів $2p=2$. Двигун має клас захисту від впливу пилу та вологи IP54.

Залежно від того, до мережі з якою напругою підключається електродвигун даної моделі, використовується одна з двох можливих схем підключення. Для мереж з

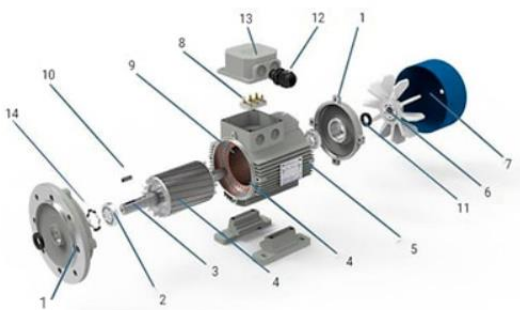
напругою 220 В використовується трикутна схема, а для мереж з напругою 380 - зіркоподібна.

Споживачу пропонуються три можливі види виконання трифазних двигунів АІР, що відрізняються один від одного варіантами монтажу: варіант з кріпленням на лапах, варіант з фланцевим кріпленням і варіант з, що є комбінацією з перших двох (тобто, він оснащений і лапами і фланцевим кріпленням).

Таблиця 3.9. Технічні характеристики електродвигуна АІР 132 S4

Параметр		Значення
Потужність	P	7.5 кВт
Частота обертання умовна (фактична)	ν	1500 (1450) об/хв
Напруга	U	380/660 В
Сила струму	I	15.6 А
ККД	μ	87%
Коефіцієнт потужності	$\cos\phi$	0.84
Співвідношення крутних моментів	M_{Γ}/M_{H}	2.3
Співвідношення крутних моментів	M_{\max}/M_{H}	2.3
Співвідношення струмів	I_{Γ}/I_{H}	7.0
Момент інерції	J	0.0227 кг*м ²
Рівень шуму	L	71 дБ(А)
Об'ємні розміри в упаковці	V	65x36x41 см ³
Вага нетто	$m_{\text{нетто}}$	64 кг
Вага брутто	$m_{\text{брутто}}$	67 кг

Конструкція створює індукційне магнітне поле в білій клітці статора під дією лінійної напруги і подає крутний момент на вал.



- | | |
|---|---|
| 1. Підшипникові шти – чавун | 8. Клемна панель |
| 2. Шарикопідшипник | 9. Статор – мідні обмотки, електротехнічна сталь. |
| 3. Вал зі шпонковим пазом | 10. Шпонка |
| 4. Ротор з мідною обмоткою | 11. Манжета |
| 5. Корпус із поздовжніми охолодними ребрами | 12. Кабельний ввід |
| 6. Вентилятор (крильчатка) | 13. Клемна коробка (борно) |
| 7. Кожух, алюмінієвий сплав – силумін | 14. Стопорне кільце |

Рис. 3.21. Схема пристрою асинхронного двигуна АІР 132 S4

Підключення трифазного електродвигуна АІР 132 S4 можна здійснити у два способи:

1) Підключення «трикутник» підключають до однофазної мережі 220 В з конденсаторами. Кінці однієї обмотки з'єднують із початком наступної. Збільшені пускові струми призводять до пробоя ізоляції, двигун сильніше нагрівається.

2) Підключення «комбіноване» обмоток використовується для плавного пуску електродвигуна. Пуск відбувається на схемі "зірка" з напругою 660 В, а потім здійснюється перехід на "трикутник" з напругою 380 В. Для організації переходу з однієї схеми на іншу потрібні пускачі та пневмореле. Плавний пуск дозволяє подолати високий пусковий момент і забезпечити довговічність двигуна. А ще він може бути необхідним, наприклад, з технологічних причин робочого/виробничого процесу підприємства.

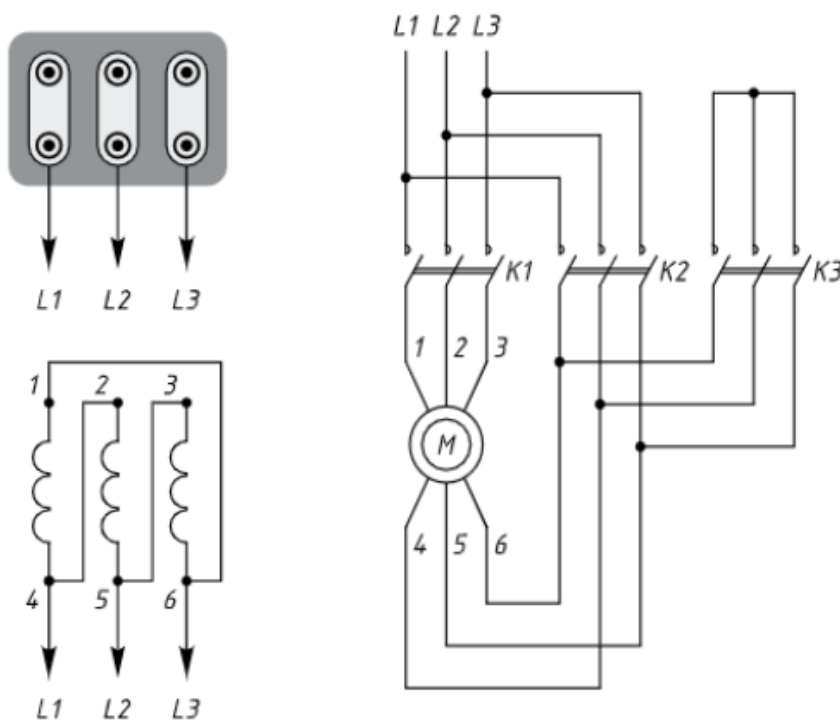


Рис. 3.22. Схем підключення «трикутник» та «комбіноване» електродвигуна АІР 132 S4

Частотний перетворювач

Частотний перетворювач Danfoss VLT Micro Drive FC51 є приводом загального призначення, який використовується для керування електродвигунами невисокою потужністю (до 22 кВт). Незважаючи на малогабаритність, приводи мають максимальну надійність, міцність і широкий спектр функцій, прості в застосуванні і можуть бути налаштовані для роботи у важких умовах.



Рис. 3.23. Зовнішній вигляд Danfoss VLT Micro Drive FC-051 7.5 кВт

Приводи VLT Micro Drive виробляються відповідно до екологічних норм та корелюють з вимогами Директиви RoHS (про обмеження вмісту шкідливих речовин). Компактна конструкція перетворювачів дає можливість економії простору під час монтажу. Приводи мають гарний захист від пилу. У приводах даної серії використовується примусова вентиляція, при якій потік повітря спрямовується у бік, протилежний до складових елементів пристрою. Перетворювачі поширені у промислових установках і додатках ОКВ.

Компактність конструкції дозволяє монтувати перетворювачі стінки-до-стінки. Частота вихідного сигналу сягає 400 Гц. Ступінь захисту корпусу перетворювача – IP21 (NEMA 1). Частотний перетворювач має вбудований фільтр радіоперешкод та вбудований гальмівний модуль (тільки у приводах потужністю понад 1,5 кВт).

Перетворювач має простоту в обслуговуванні та встановленні, швидке копіювання налаштувань за допомогою пульта, інтуїтивним меню та сучасним програмним забезпеченням. Наявність векторного режиму дає можливість керувати будь-яким навантаженням за різних режимів роботи, автоматична підтримка моменту працює для підтримки статичної швидкості обертання. Частотний перетворювач має протоколи зв'язку, ПЛК та ПІ-регулятор, які дозволяють створювати автоматизовані системи без застосування додаткових пристроїв.

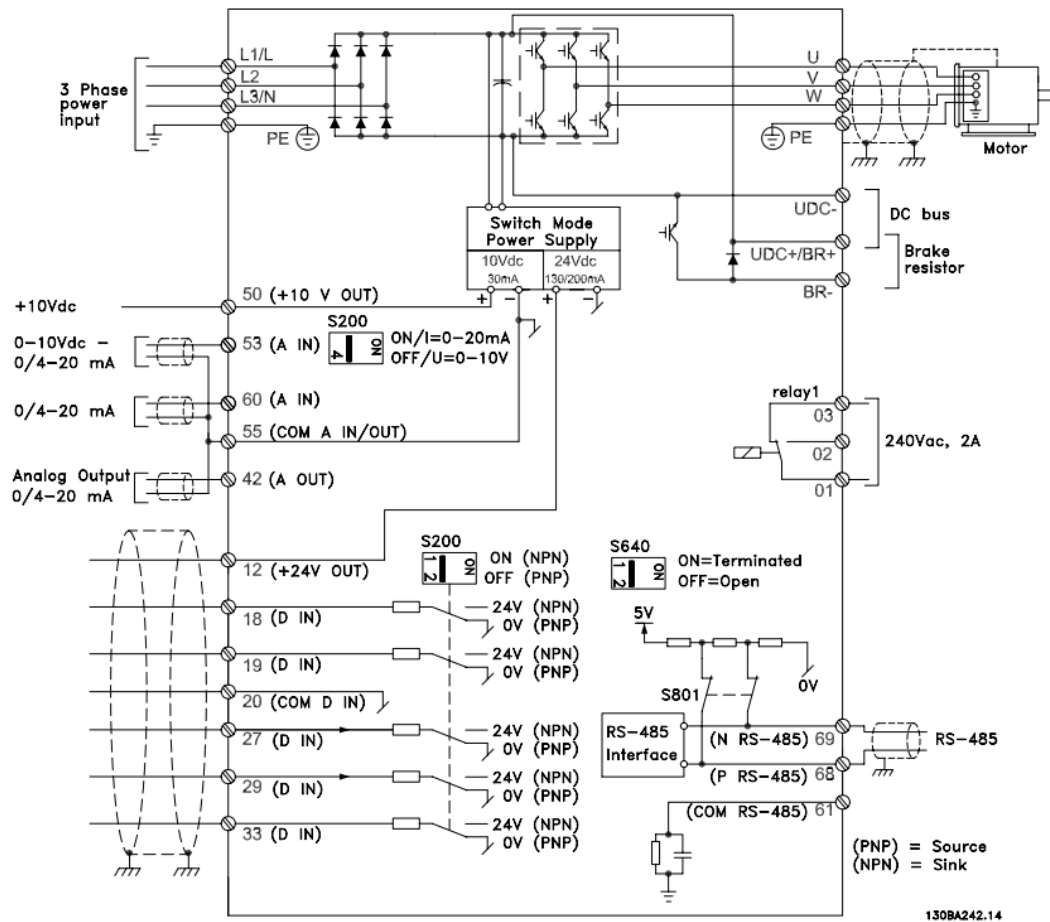


Рис. 3.24. Схема електричних з'єднань усіх клем

Поршневий компресор

Для продуктивної роботи пневмосистемою відділенням очистки дифузійного соку потрібно обрати компресор, котрий виконуватиме дану функцію.

Matarì M740E55-3 - це професійний поршневою повітряний компресор з великою продуктивністю, призначений для постачання стисненим повітрям різного пневмоінструменту, установок і ін.



Рис. 3.25. Зовнішній вигляд Matarì M740E55-3

Три циліндра значно збільшують продуктивність даного компресора. Редуктор тиску з манометром дозволяє регулювати робочий тиск, що подається на пневмоінструмент, а додатковий манометр зображує поточний тиск в ресивері. Індикатор рівня масла дає можливість оператору легко контролювати рівень масла.

Компресор автоматично відключається при досягненні тиску 10 атмосфер.

Електродвигун компресора Matarì M740 E55-3 оснащений захистом від перегріву, працює дуже тихо і з малим рівнем вібрації. Завдяки йому вдалося домогтися збільшення потужності і ресурсу роботи. Центральне розташування поршневої групи

дозволяє збільшити продуктивність на 40%, при збільшенні потужності двигуна на 20%. Збалансований чавунний шків і клапани з нержавіючої сталі.

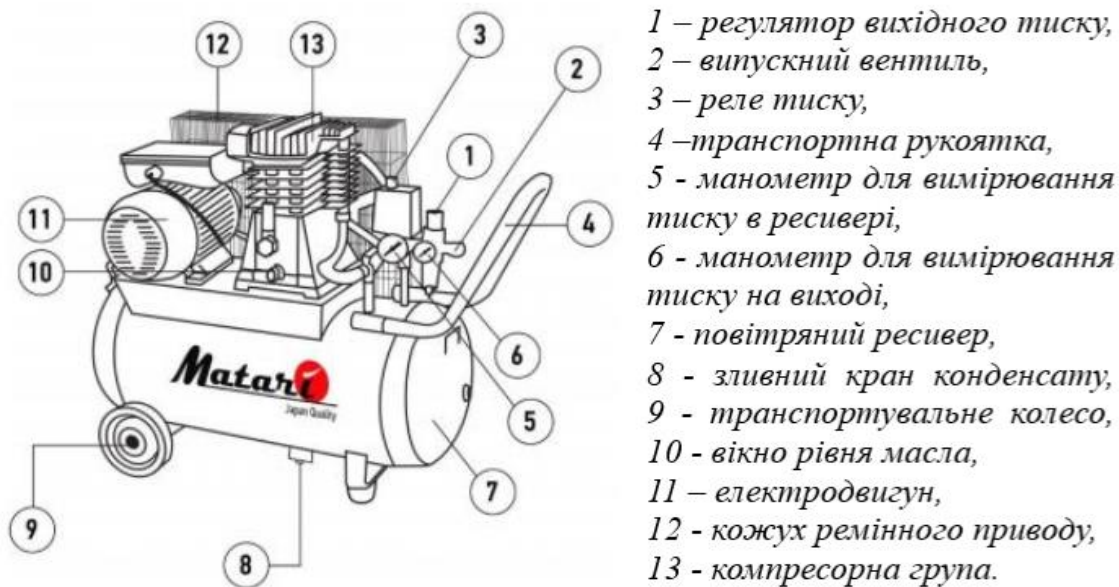


Рис. 3.26. Будова компресора Matarì M740 E55-3

Швидкознімний коннектор дозволяє без зайвих зусиль підключати і від'єднувати пневмоінструмент. Рукоятка призначена для легкого переміщення компресора до місця роботи, а транспортувальні колеса полегшують його переміщення.

Продуктивність компресора на вході становить 880 л/хв на виході дозволяє забезпечити виконання багатьох робіт, а ресивер об'ємом 270 л зберігає невеликий запас пневмоенергії. Для зручності модель оснащена двома вихідними кранами для споживання повітря.

Таблиця 3.10. Технічна характеристика Matarì M740E55-3 та двигуна

Джерело живлення:	Електричний	Напруга:	400 В/50 Гц
Форм фактор:	Пересувний	Кількість циліндрів:	3
Габаритні розміри (дхшхв):	1610x530x1035 мм	Кількість фаз:	3
Тиск:	10 бар	Обсяг ресивера:	270 л
Продуктивність на вході:	880 л/хв	Тип приводу:	Ремінний
Потужність двигуна (квт):	5.5 кВт	Тип компресора:	Масляний
Продуктивність на виході:	740 л/хв		

Блок ручного управління

БРУ-17 відноситься до апаратури управління, яка встановлюється у комплексних та локальних системах промислової автоматизації. Фактично маючи у своєму підпорядкуванні даний блок, виникає бажання та можливість керувати механізмом аналогового типу у вигляді ручного управління. Додатковою функцією вважається експлуатація як задатчик аналогових сигналів та їх індикації.

Відмінною рисою запропонованого обладнання є наявність в архітектурі приладу гальванічної розв'язки між входом, виходом і ланцюгом живлення.

Пропонований блок керування використовується для перемикання ланцюгів керування, що використовуються при керуванні виконавчими механізмами та пристроями, для індикації режимів їх роботи, для систематичних вимірювань одних з технологічних параметрів.



Рис. 3.27. Зовнішній вигляд блоку ручного управління БРУ-17

Блок управління цієї моделі може застосовуватися як базова станція для ручного управління виконавчими механізмами з паралельною індикацією режимів робіт.

Блок БРУ-17 може використовуватися для вимірювання та контролю значень одного фізичного параметра (температури, витрати, тиску та ін.) з подальшою обробкою та візуалізацією поточного значення на 4-розрядному цифровому індикаторі.

Однією з функціональних можливостей приладу є генерування вихідного сигналу технологічної сигналізації, за допомогою якої подається інформація про небезпечну технологічну зону або вихід параметрів за встановлені межі.

Перемикання режиму відбувається під час проходження імпульсу постійного струму через відповідне реле. Повторення імпульсу струму по тому ж таки реле, а також вимикання живлення стан контактів реле не змінюють. Для зміни стану контактів необхідно пропустити імпульс струму з іншого реле. У БРУ-17 використовуються 4 групи реле, що перемикають контактів.

Внутрішня програмна пам'ять блоку БРУ-17 містить велику кількість стандартних функцій необхідних для візуалізації та управління технологічними процесами, а також вирішення більшості інженерних прикладних завдань, наприклад, таких як:

- Порівняння результату перетворення зі вставками MIN, MAX та сигналізацію відхилень.
- Програмне калібрування каналів за зовнішнім зразковим джерелом аналогового сигналу.
- Цифрова фільтрація сигналу
- Масштабування шкал вимірюваних параметрів.
- Витяг квадратного кореня.
- Лінеаризація вимірюваної величини.

Параметри конфігурації блоку ручного управління БРУ-17 зберігаються в незалежній пам'яті, і прилад здатний відновити виконання завдань управління після переривання напруги живлення. Батарея резервного живлення не використовується.

Таблиця 3.11. 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, викликані зміною температури навколишнього середовища	$< 0.2 \%$ / $10 \text{ }^\circ\text{C}$
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)

Підключення сигналів до БРУ-17 відбувається за рахунок роз'ємів-клем із пружинними з'єднаннями, котрі розміщуються в задній частині даного приладу.

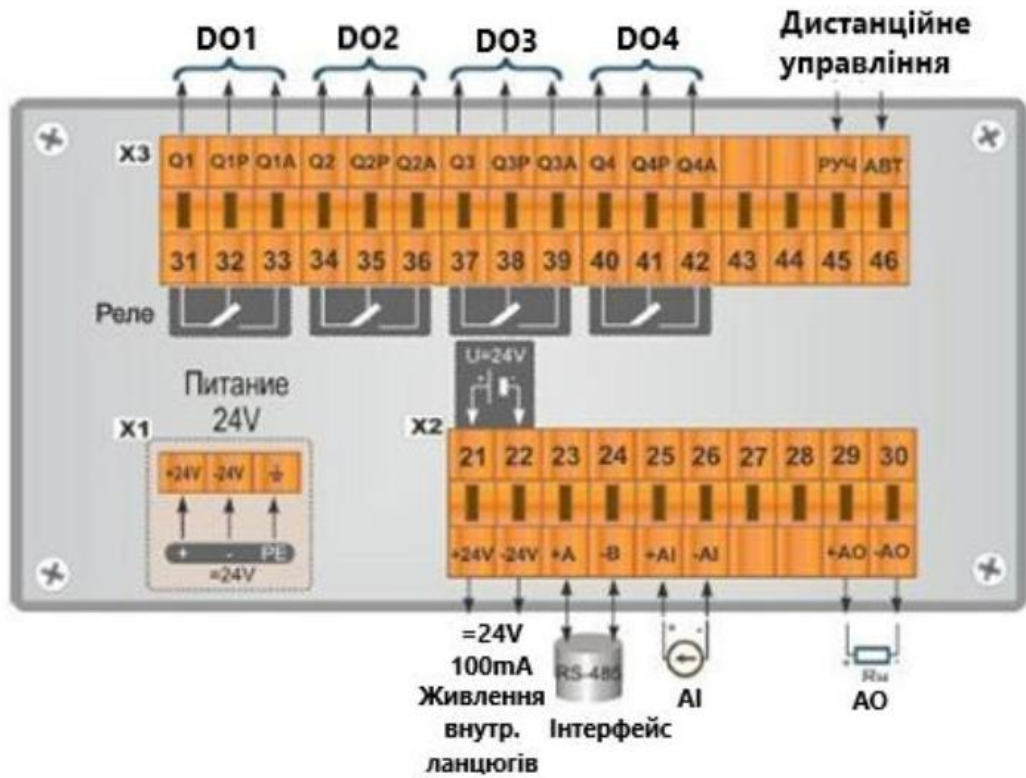


Рис. 3.28. Підключення до блоку БРУ-17

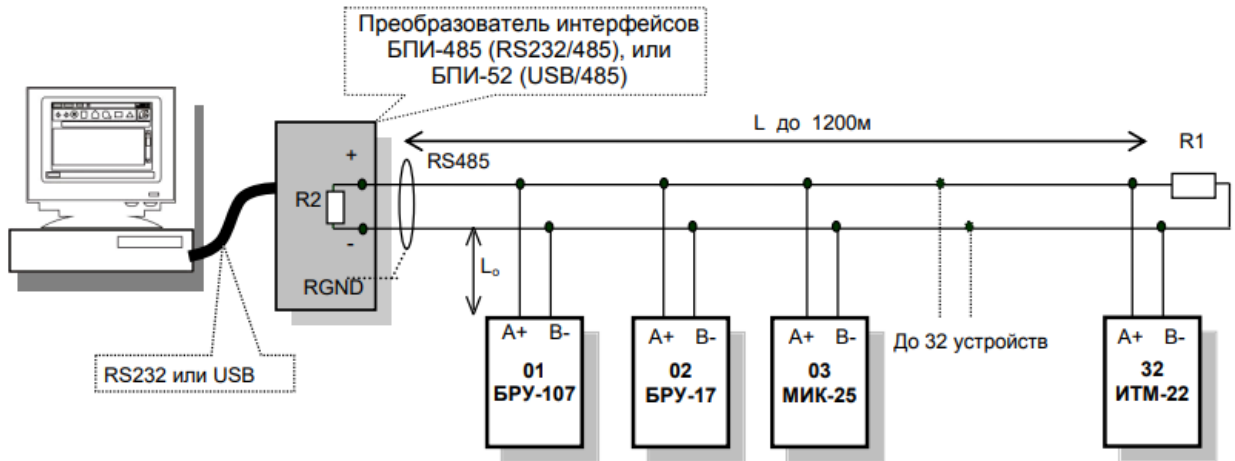


Рис. 3.29. Організація інтерфейсного зв'язку між комп'ютером та блоками або контролерами

Електропневматичний перетворювач

В розробленій схемі автоматизації комплексу цукрового заводу з підсистемою очистки дифузійного я використала пневмосистему управління регулюючими органами, котрі потребують застосування електропневматичних перетворювачів.

Тому я визначила в якості ЕПП ASCO Numatics Series 617 Sentronic LP, котрий являється, на сьогоднішній день, високоефективний та рентабельний пропорційний клапан з цифровим управлінням, що досконало задовольняють поставленим вимогам регулювання тиску.



Рис. 3.30. 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.

Використання комунікацій IO-Link для отримання інформації про ці пристрої на виробництві підтримує майбутнє впровадження програм Industry 4.0 і Industrial Internet of Things (IIoT), які сприятимуть підвищенню надійності, доступності та прибутковості заводу.

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

Вони регулюють тиск до 12 бар (174 psi) і є електромагнітно-сумісними відповідно до Директиви про електромагнітну сумісність (EMC) 2014/30/EU.

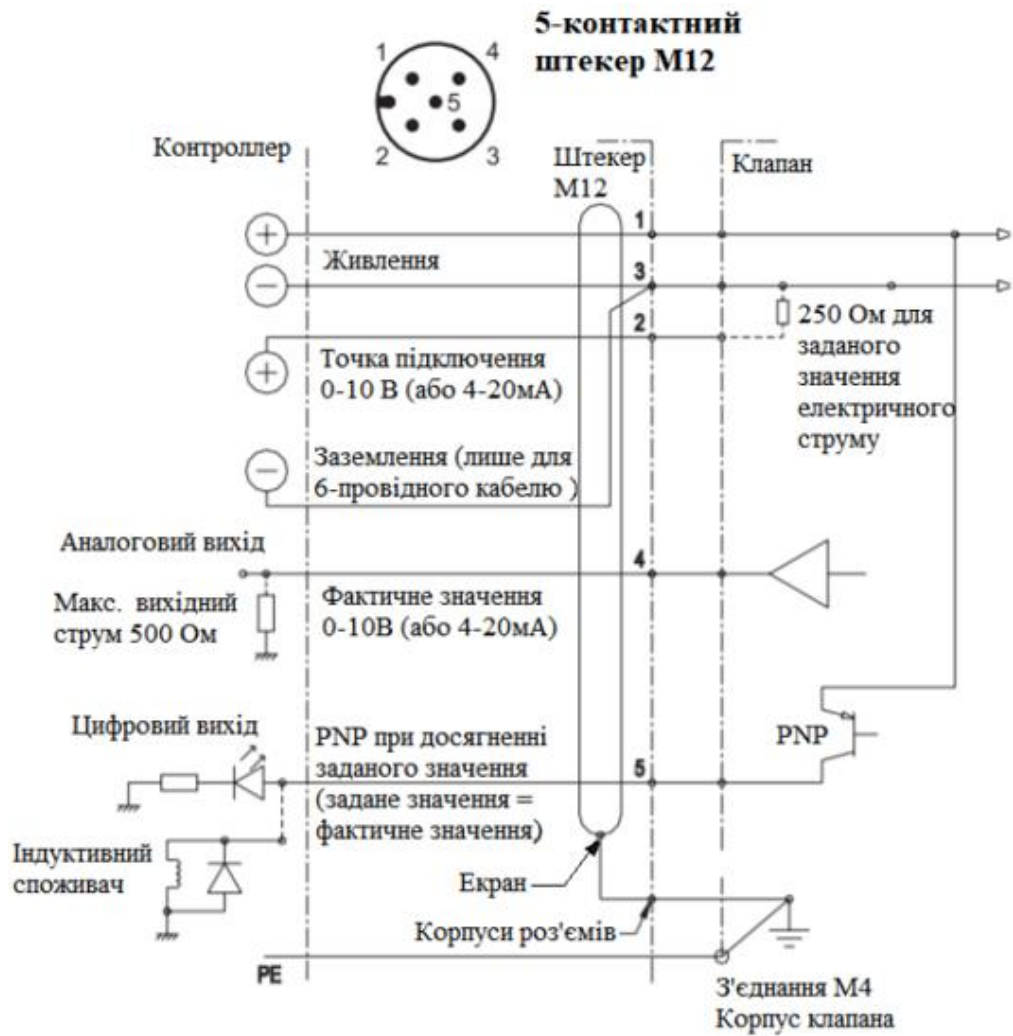


Рис. 3.31. Електричне підключення перетворювача Sentronic LP серії 617 ASCO

Клапан може працювати лише з напругою живлення 24 В постійного струму $\pm 10\%$ і максимальним ефектом пульсацій 10%. (немає живлення через діодний міст). Перевищення напруги або пульсації струму, що перевищують ці межі допуску, можуть призвести до пошкодження електроніка регулятора тиску.

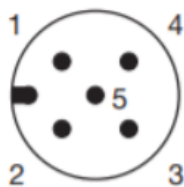
Максимальний струм для реле тиску становить 200 мА / 4,8 Вт (вихід PNP). Вихід захищений від короткого замикання ланцюги та перевантаження.

Якщо реле (індуктивне навантаження) підключено до виходу реле тиску, слід використовувати вільний діод або варистор.

Для захисту від електромагнітних перешкод необхідно використовувати екранований кабель.

Корпус клапана необхідно заземлити за допомогою клеми заземлення (діаметр М4).

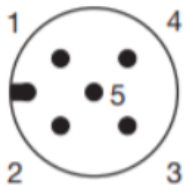
Стандартне аналогове управління



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 довжин 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. 3.32. Розташування контактів роз'єму Sentronic LP серії 617 ASCO

3.3. Схеми електричні принципові контурів вимірювання, управління та сигналізації

На схемі електричній принциповій контурів вимірювання, управління та сигналізації технологічного комплексу цукрового заводу з підсистемою очистки дифузійного соку зображено під'єднання вимірювальних приладів та виконавчих механізмів до ПЛК Schneider Electric M340.

В даному підключення я використала один дискретний вхідний модуль BMX DDI 1602, один вихідний дискретний модуль BMX DDO 1602, один аналоговий вхідний модуль BMX AMI 0810 та два аналогових вихідних модуля BMX AMO 0802.

Нижче наведені позначення, котрі зображені на даній схемі.

Таблиця 3.12. Нумерація провідників

Нумерація	Примітка
001-024	відгалуження в котрих проходить пневматичний сигнал від ПЛК Schneider Electric M340 до клапана та електропневматичного перетворювача
100-126	провідники в котрих протікає сигнал від датчиків до ПЛК Schneider Electric M340
200-217	провідників в котрих проходить сигнал управління від ПЛК Schneider Electric M340 до електропневматичних перетворювачів
800-825	провідників в котрих протікає змінний струм
900-965	провідників в котрих протікає постійний струм

Таблиця 3.13. Позначення, котрі присутні на схемі

Позначення	Примітка
Автоматичні вимикачі в силових ланцюгах QF1-QF6	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. Розширені схеми підключення для окремого контуру

Контур регулювання рН соку і сатурації

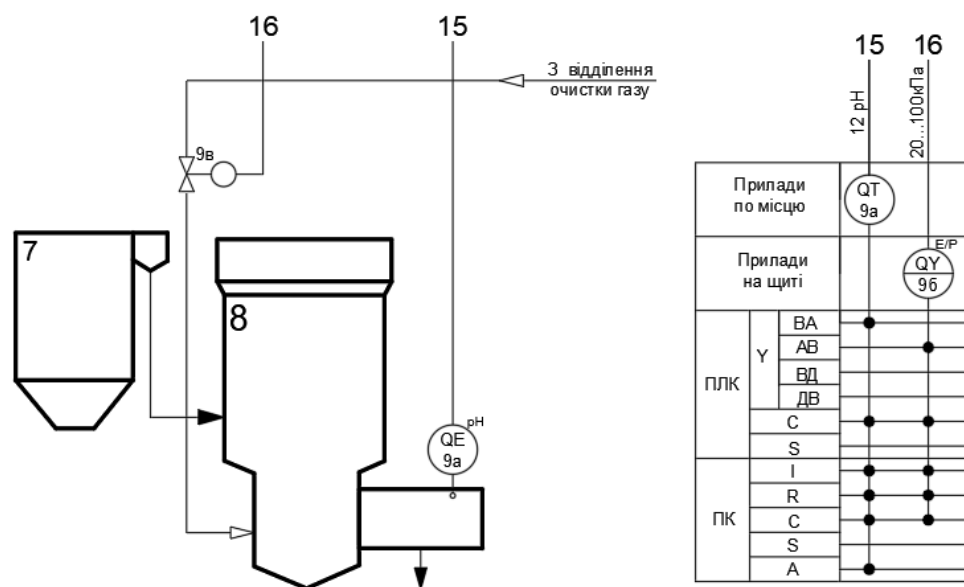


Рис. 3.33. Функціональна схема автоматизації контуру регулювання рН соку і сатурації клапаном подачі сатураційного газу

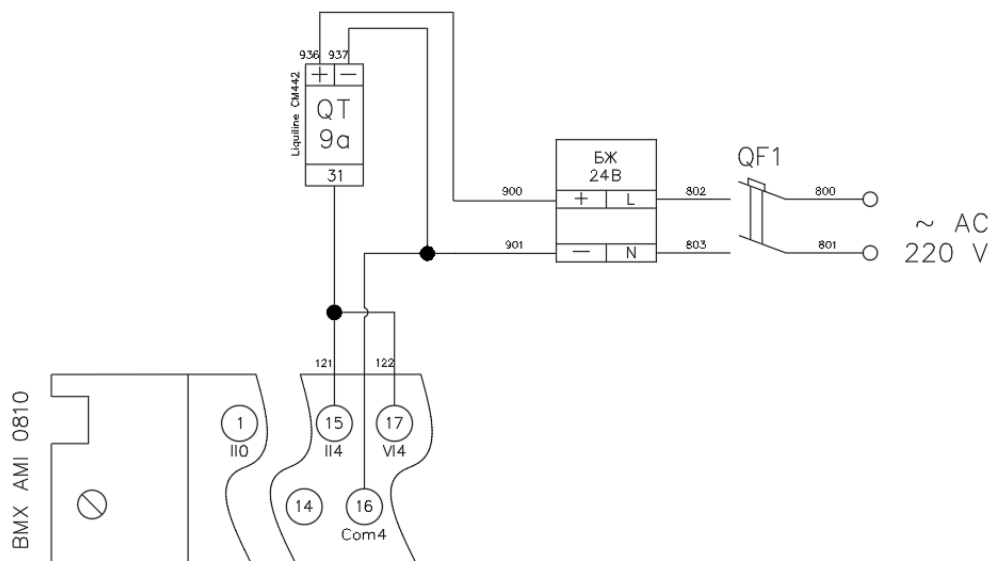


Рис. 3.34. Розширена схема підключення датчика рН до модуля BMX AMI 0810 ПЛК Schneider Electric M340

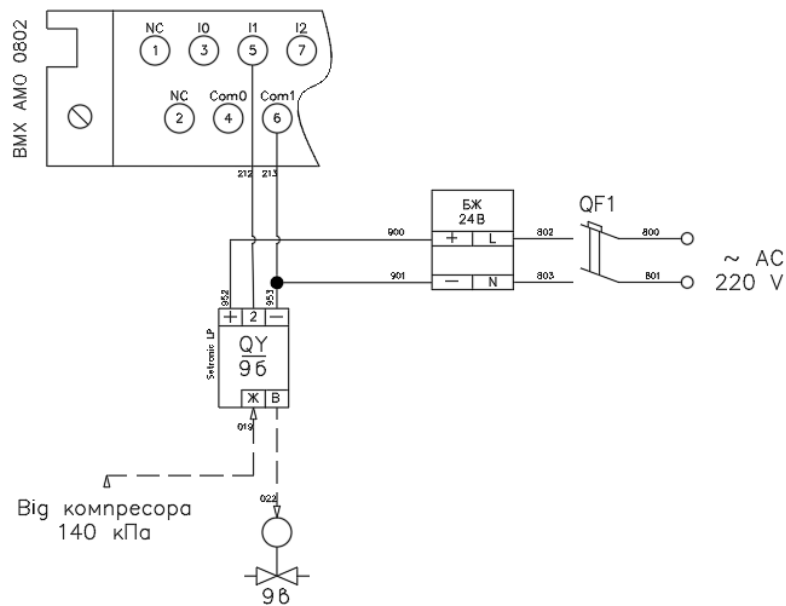


Рис. 3.35. Розширена схема підключення пневматичного клапана до модуля ВМХ АМО 0802 ПЛК Schneider Electric М340

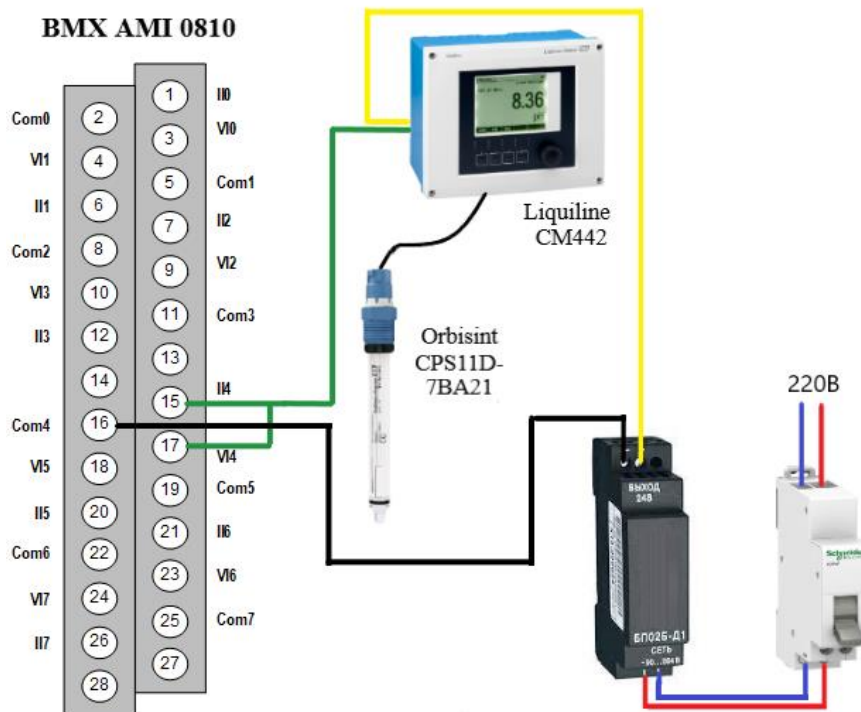


Рис. 3.36. Графічна схема підключення Orbisint CPS11D-7BA21 з вторинним вимірювальним перетворювачем Liquiline CM442 до модулів ПЛК Schneider Electric М340

Підключення Orbisint CPS11D-7BA21 з вторинним вимірювальним перетворювачем Liquiline CM44 відбувається за рахунок струмової петлі до вхідного аналогового модуля ВМХ АМІ 0810. Живлення всіх датчиків здійснюється через блок живлення, котрий з'єднується з перемикачем Schneider Electric.

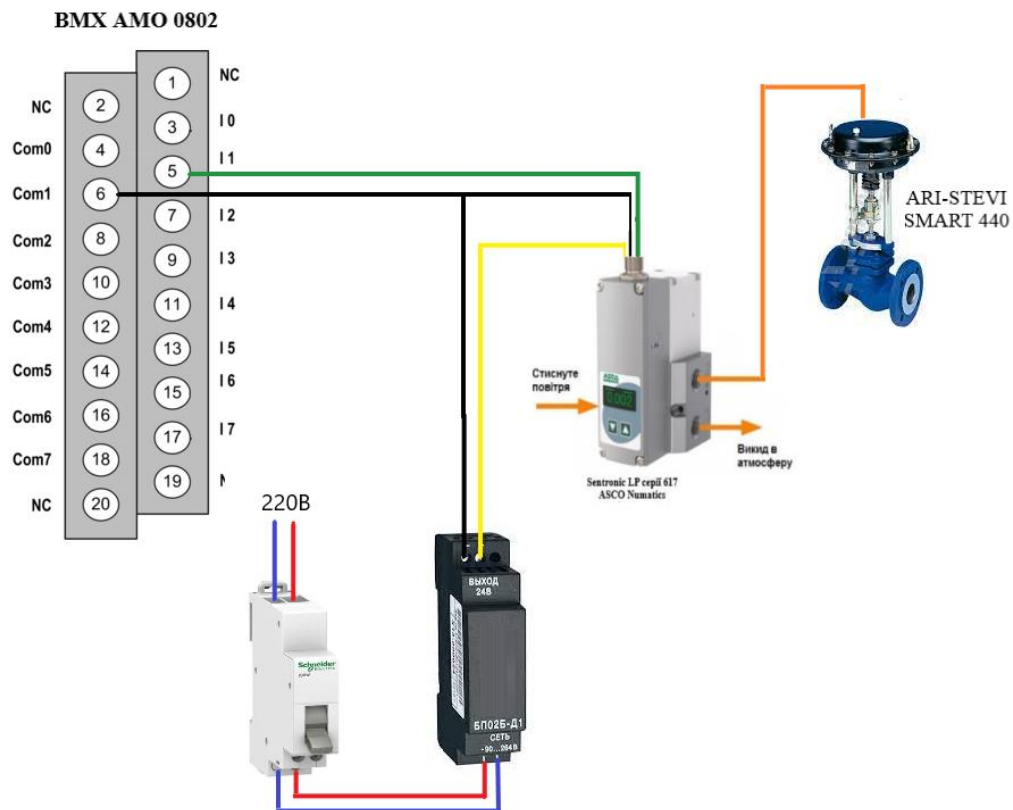


Рис. 3.37. Графічна схема підключення пневматичного клапану до ВМХ АМО 0802 ПЛК Schneider Electric М340

Пневматичний клапан ARI-STEVI SMART 440 (поз. 9в) під'єднується до електропневматичного перетворювача ASCO Numatics Series 617 Sentronic LP (поз. 9б), котрий підключається на 5 та 6 клеми вихідного аналогового модуля ВМХ АМО 0802 та пропорційно обертає уніфікований електричний сигнал 4...20мА на пропорційний пневматичний сигнал 20...100 кПа.

Живлення ЕПП Sentronic LP серії 617 ASCO Numatics відбувається аналогічним чином, як ще описано вище.

3.5. Схема з'єднання та підключення проводок промислових мереж

У кваліфікаційній роботі схеми з'єднань та підключень проводок опрацьовуються для промислових мереж.

Відтворення зв'язків між технічними засобами автоматизації, котрі слугують для обміну інформаційними даними по промисловим мережам справджуються з застосуванням схеми з'єднань та підключень проводок мережі. Відображення таких схем є доступними для читання, із за використання написів на самій схемі.

В таблиці наведені перелік найменувань та кількість елементів, корті позначені на схемі з'єднань проводок промислових мереж.

Таблиця 3.14. Перелік елементів до схеми з'єднань

Найменування	К-сть	Примітка
Комунікаційні адаптери та карти		
КК CAT – TSX SCP114 PCMCIA мультіпротокольна карта RS-485	1	
КМ ВИП – TWD NOZ 485 T, комунікаційний модуль RS-485 для Twido з підключенням під клемну колодку (PORT2)	1	
Коробки з'єднувальні		
КC2-1 - TSX SCA 50 з вбудованим термінатором	3	
Клемні колодки		
XT1 (щит RIO1) з прохідними клемами та 3 контакти	1	
XT2,XT3 (щит PDS1,PDS2) з прохідними клемами та 3 контакти	2	
Мережні з'єднувачі		
XS1-7 – неекранований RJ-45 типу вилка	7	
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 витої пари	150м	
UTP – UTP кабель 4x2 CAT5e 0,5 мм PVC	4м	

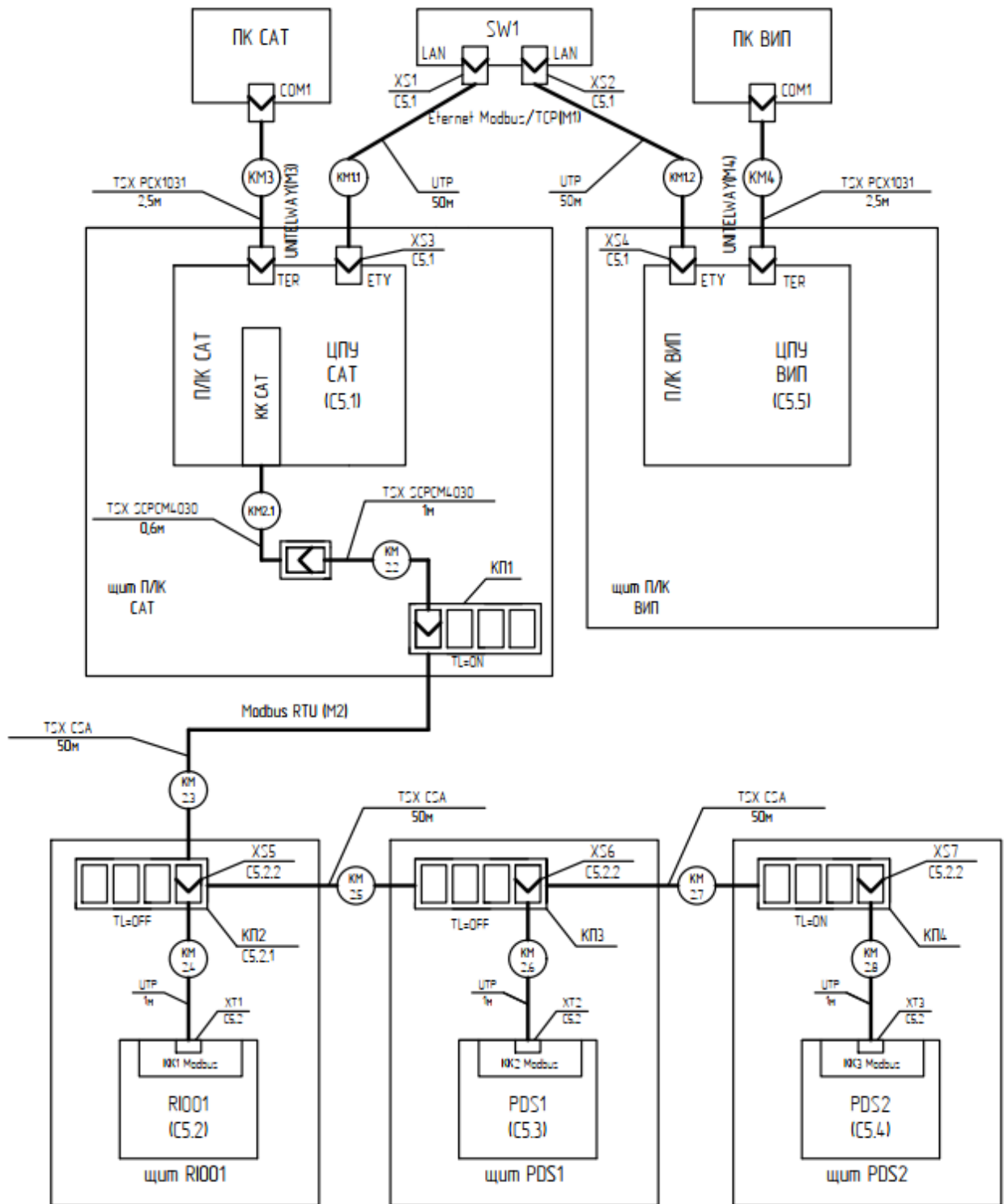


Рис. 3.38. Схема з'єднань проводок промислових мереж

3.6. Схема компонування та специфікація модулів ПЛК

Для виконання поставленого завдання я розглянула всі вивчені мною промислові логічні контролери і дійшла до висновку, що мій вибір зупиниться на інноваційних та потужних контролерах компанії Schneider Electric.

В загальному випадку функціональна структура всіх існуючих ПЛК наведена на рисунку, що знаходиться нижче.

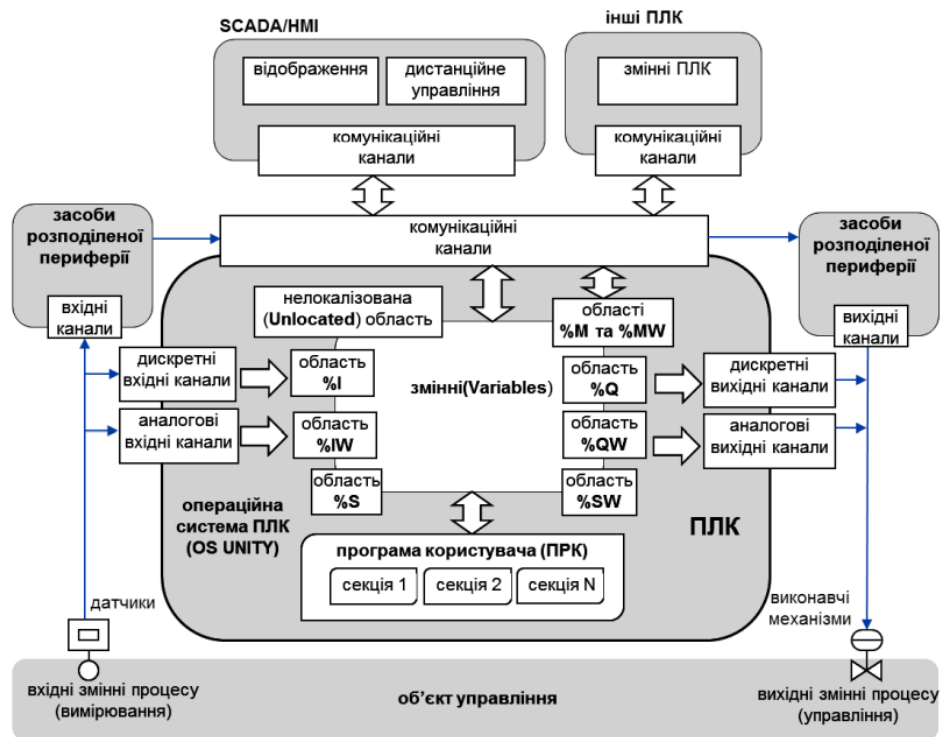


Рис. 3.39. Функціональна структура ПЛК

Modicon M340 являється контролером, котрий має модульний тип, обрис якого характеризують відповідно до кількості вхідних та вихідних змінних та алгоритмом управління.

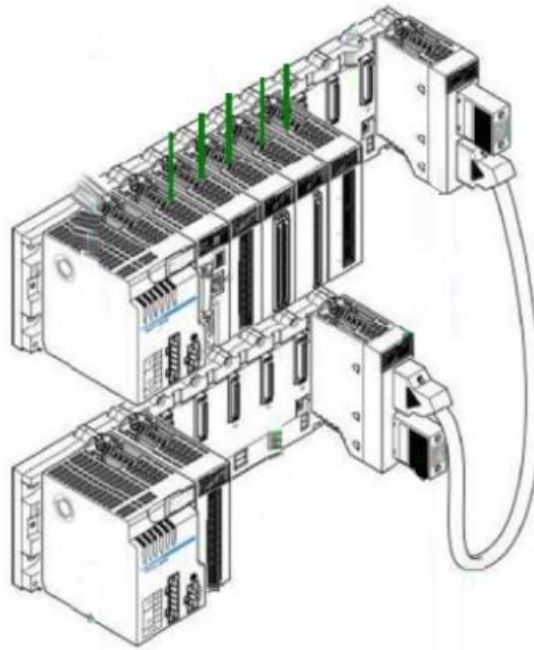


Рис. 3.40. Загальна архітектура контролера Modicon M340

Фізична структура контролера Modicon M340 уособлює в собі сукупність модулі вводу/виводу, модуль живлення, модуль розширення, процесорний модуль та термінуючі резистори.

Тепер розберемо окремо кожний підпункт фізичної структури та визначимо їх для мого поставленого завдання.

Для початку потрібно вибрати всі компоненти, котрі стосується апаратної частини ПЛК M340.

Таблиця 3.15. 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 DDI 1602	1	Модуль дискретних входів
BMX DDO 1602	1	Модуль дискретних виходів
BMX AMI 0810	1	Модуль аналогових входів
BMX AMO 0802	2	Модуль аналогових виходів

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

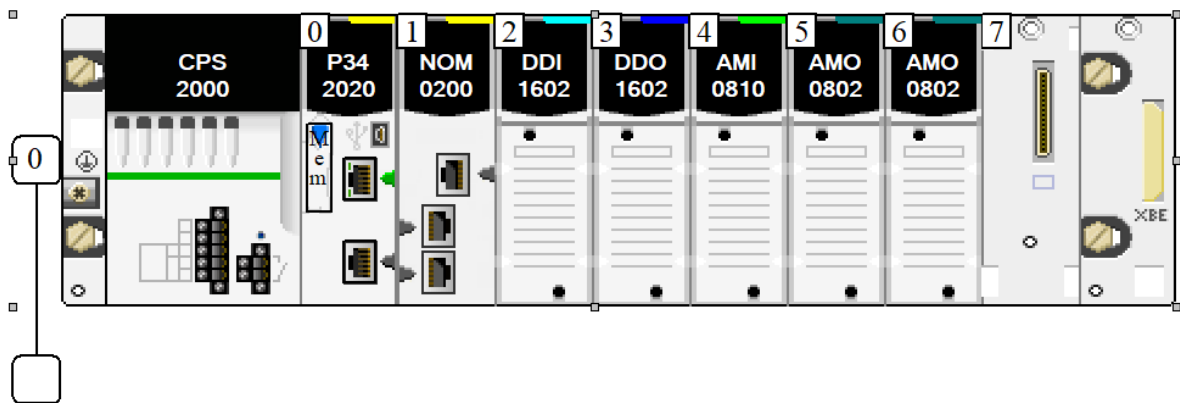


Рис. 3.41. Апаратна конфігурація ПЛК M340

Всі обрані модулі живляться через внутрішнє електроживлення через шасі за допомогою модуля BMX CPS 2000. Даний модуль живлення володію аварійним реле, котре розпочинається з 0-го номеру на шасі.



Рис. 3.42. Вигляд модуля BMX CPS 2000

Таблиця 3.16. Характеристика потужності модуля живлення

Потужність	BMX CPS 2000
Напруга живлення	100...240 VAC
Загальна корисна потужність (P_{ps})	20 Вт
Потужність на виході 3V3_VAC монтажного шасі	8,3 Вт (2,5 А)
Потужність на виході 24V_VAC монтажного шасі	16,5 Вт (0,7 А)
Максимальна сумарна потужність на виходах 3V3_VAC та 24V_VAC (P_{3V3_24V})	16,5 Вт
Сумарна корисна потужність на споживання зовнішніми датчиками 24V SENOSRS	10,8 Вт (0,45 А)

Кількість та потребу спожитої потужності для вибраних мною модулів можна переглянути, якщо натиснути відповідну операцію.

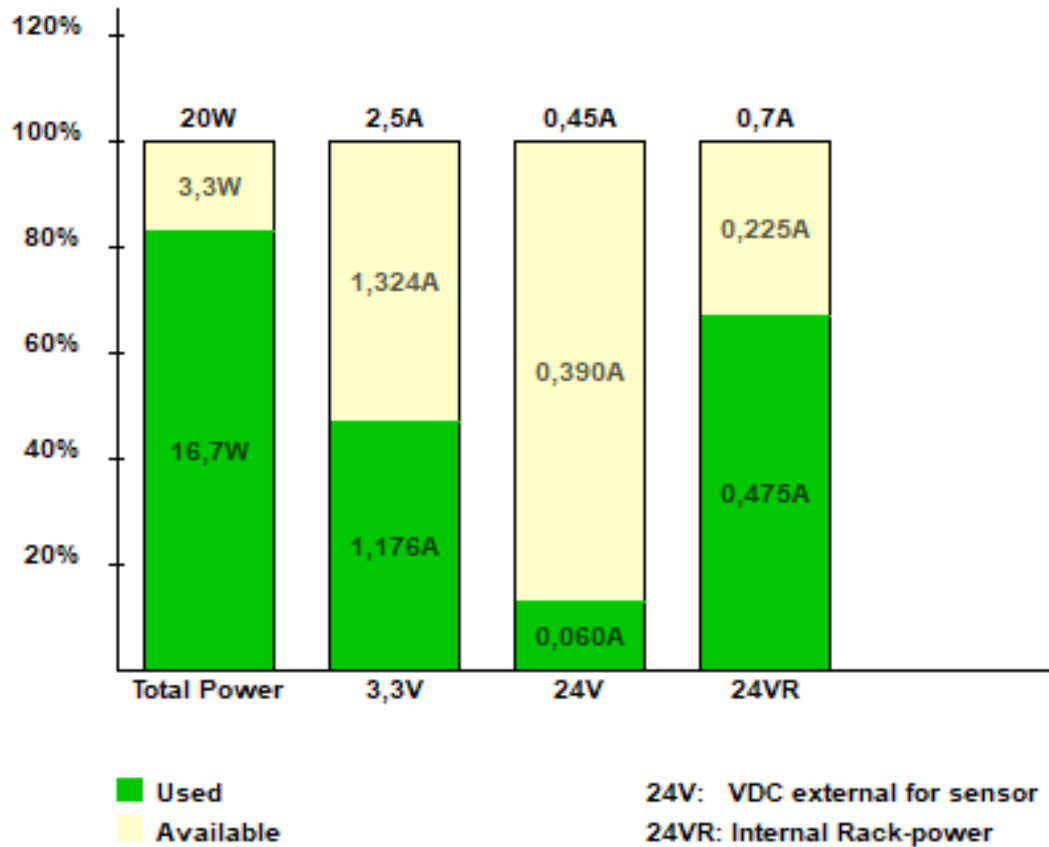


Рис. 3.43. Споживча потужність

При виборі процесорного модуля я спиралася на функціональні його можливості та задовільнення технічного завдання. Таким чином я обрала VMX P34-2020.



Рис. 3.44. Вигляд процесорного модуля BMX P34-2020

Таблиця 3.17. 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 зв'язку між сусідніми станціями очистки дифузійного соку, в конфігурацію ПЛК я використала модуль *BMX NOM 0200*, котрий являється портом *BUS MODULE 2 RS485/232*.



Рис. 3.45. Вигляд модуля *BMX NOM 0200*

Таблиця 3.18. 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

Дискретні модулі входу/виходу має такі характеристики:

Позначення модуля	Кількість каналів	Характеристика модуля	Підключення
Модуль дискретних входів			
BMX DDI 1602	16	24 VDC, позитивна логіка	20-конт. з'ємна кол.
Модуль дискретних виходів			
BMX DDO 1602	16	24 VDC, захищені, позитивна логіка, 0,5 А	20-конт. з'ємна кол.

Аналогові модулі 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...10В, 0...5В, 0...20мА, 4...20мА	16-бітні, ізоляція між каналами, час опитування модуля -9 мс	28-контактна з'ємна кол.
Модуль аналогових виходів				
BMX AMO 0802	8	0...20мА, 4...20мА	16-бітні, загальна точка	20-контактна з'ємна кол.

Розділ 4. Спеціальне завдання

4.1. Опис спеціального програмного забезпечення для мікропроцесорного контролера (алгоритм та програма для ПЛК)

В даному розділі мною було створено алгоритм роботи автоматизованої системи управління технологічним комплексом цукрового заводу з підсистемою очистки дифузійного соку, котра має таку послідовність виконання дій:

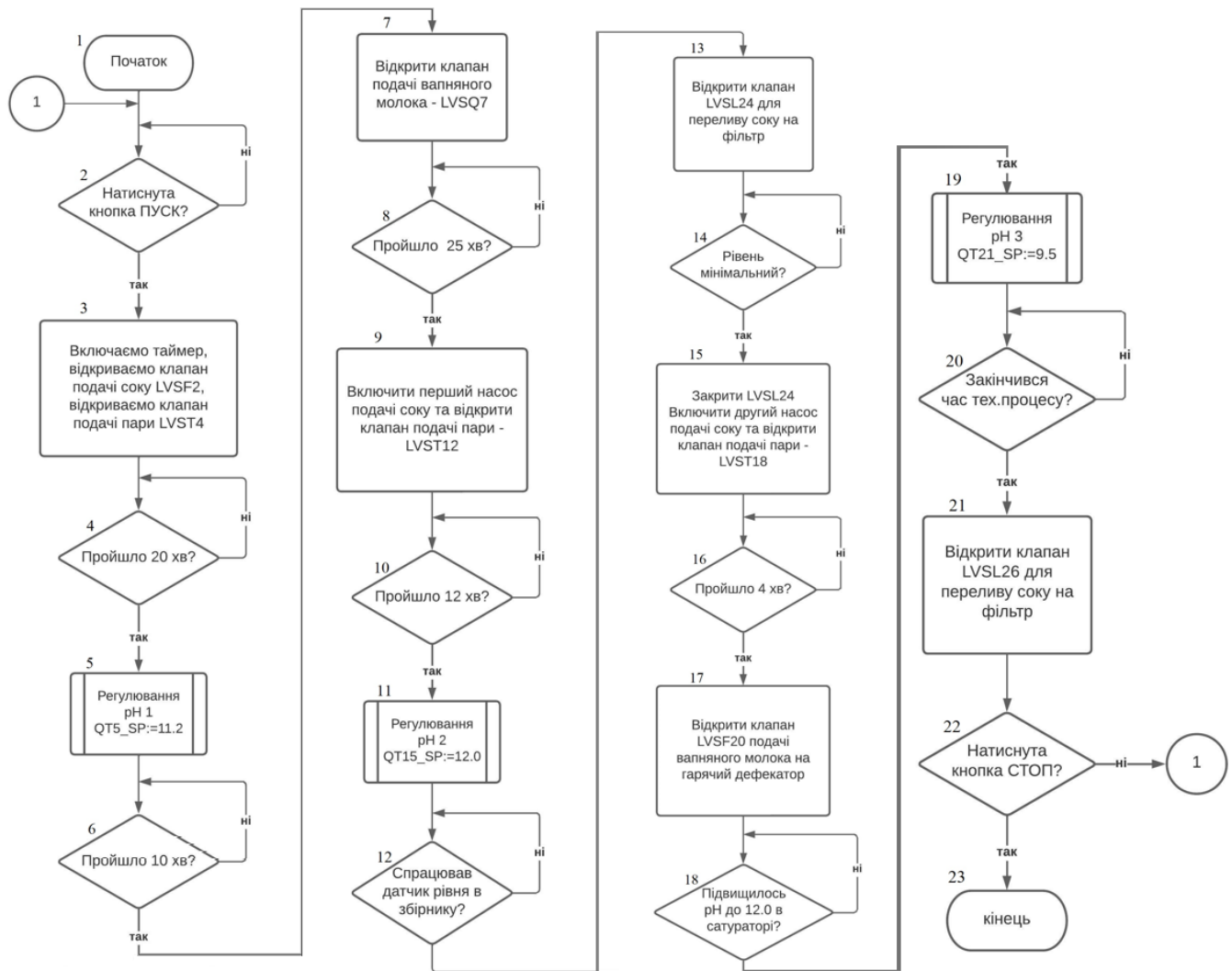


Рис. 4.1. Блок-схема управління процесом очищення дифузійного соку

Як відмічено раніше, для управління об'єктом, а саме підсистемою очищення дифузійного соку, потрібно скомпонувати мікропроцесорний контролер у такий спосіб, котрий відповідає вимогам стосовно схеми підключення:

Назва	Кількість сигналів
Дискретні вхідні сигнали	8
Дискретні вихідні сигнали	5
Аналогові вхідні сигнали	7
Аналогові вихідні сигнали	9

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

- один дискретний вхідний модуль BMX DDI 1602;
- один вихідний дискретний модуль BMX DDO 1602;
- один аналоговий вхідний модуль BMX AMI 0810;
- два аналогових вихідних модуля BMX AMO 0802.

Для обраної кількості модулів вводу/виводу достатньо одного шасі на 8 посадочні місця (BMX XBP 0800). Модуль живлення для шасі вибираємо на 220В. Для живлення модулів в шасі достатньо BMX CPS 2000.

Схема компоновання ПЛК показана на рисунку 4.2.

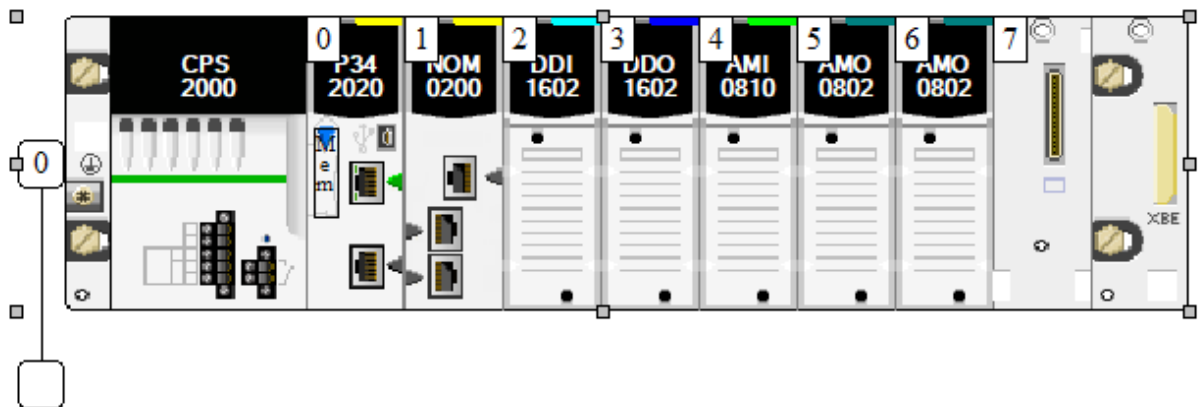


Рис. 4.2. Апаратна конфігурація Modicon M340

Для того, щоб з'єднання провідників до аналогових/дискретних модулів вводу/виводу, потрібно на додаток обрати клемні колодки. Для цього обрали змінний клемник з гвинтовим затискачем ВМХ FTВ 2010.

Отже отримаємо ось таку специфікацію засобів автоматизації для ПЛК:

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 NОМ 0200	Schneider Electric , Франція	шт.	1
5.	Модуль на 16 дискретних входів	ВМХ DDI 1602	Schneider Electric , Франція	шт.	1
6.	Модуль на 16 дискретних виходів	ВМХ DDO 1602	Schneider Electric , Франція	шт.	1
7.	Модуль на 8 аналогових входів	ВМХ АМІ 0810	Schneider Electric , Франція	шт.	1
8.	Модуль на 8 аналогових виходів	ВМХ АМО 0802	Schneider Electric , Франція	шт.	2
9.	20 контактна з'ємна колодка з гвинтовими зажимами	ВМХ FTВ 2010	Schneider Electric , Франція	шт.	5

Спираючись на це, у програмі EcoStruxure Control Expert створюються змінні вводу/виводу відповідно до завдання.

● FT1	EBOOL			%I0.2.0
● FT8	EBOOL			%I0.2.2
● FT9	EBOOL			%I0.2.4
● STOP1_D	EBOOL			%I0.2.6
● FT19	EBOOL			%I0.2.8
● LT23	EBOOL			%I0.2.10
● LT25	EBOOL			%I0.2.12
● STOP2_D	EBOOL			%I0.2.14
● TT3	INT			%IW0.4.0
● QT5	INT			%IW0.4.1
● TT11	INT			%IW0.4.2
● PT13	INT			%IW0.4.3
● QT15	INT			%IW0.4.4
● TT17	INT			%IW0.4.5
● QT21	INT			%IW0.4.6

Рис. 4.3. Перелік дискретних/аналогових змінних вводу в EcoStruxure Control Expert

	LVSF2	EBOOL				%Q0.3.0
	LVSP14	EBOOL				%Q0.3.3
	LVSF20	EBOOL				%Q0.3.6
	LVSL24	EBOOL				%Q0.3.9
	LVSL26	EBOOL				%Q0.3.12
	HC1	INT				%QW0.5.0
	LVST4	INT				%QW0.5.1
	LVSQ6	INT				%QW0.5.2
	LVSQ7	INT				%QW0.5.3
	LVST12	INT				%QW0.5.4
	HC2	INT				%QW0.6.0
	LVSQ16	INT				%QW0.6.1
	LVST18	INT				%QW0.6.2
	LVSQ22	INT				%QW0.6.3

Рис. 4.4. Перелік дискретних/аналогових змінних виводу в EcoStruxure Control Expert

На зображеннях, котрі знаходяться нижче, вказане вікно конфігурування модулю ЦПУ, дискретних та аналогових модулів входів/виходів.

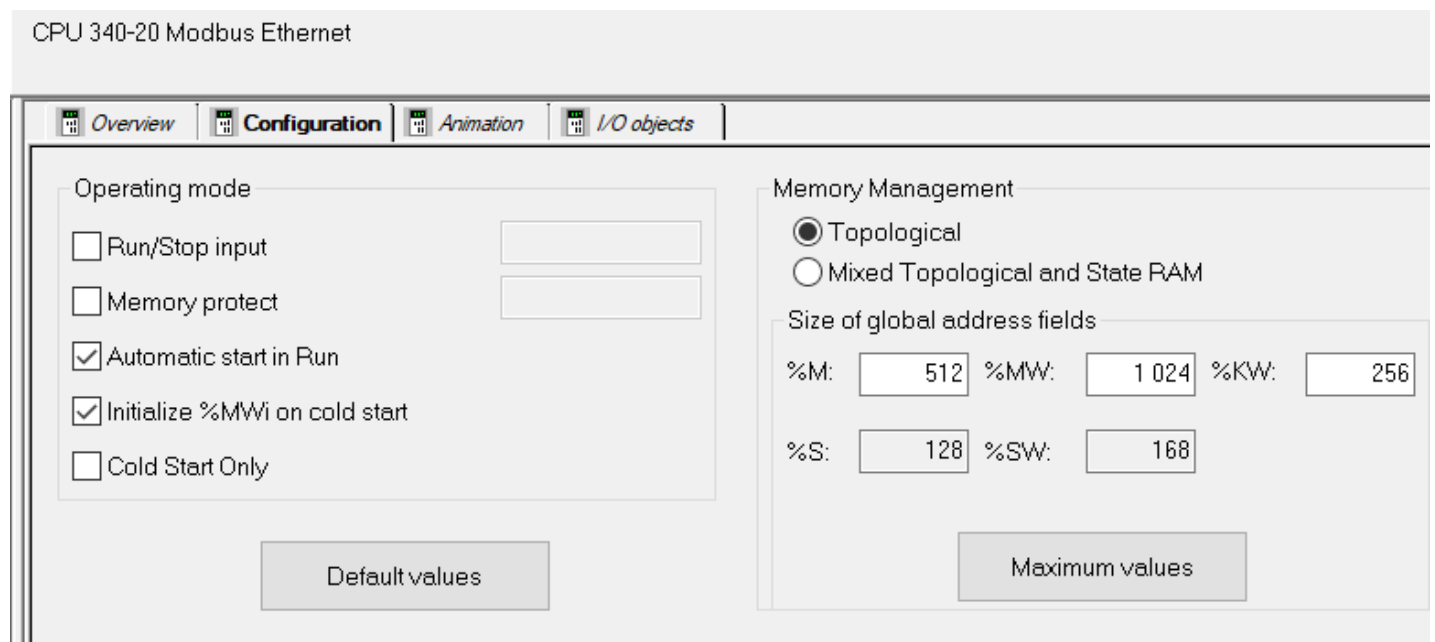


Рис. 4.5. Конфігурування процесорного модуля

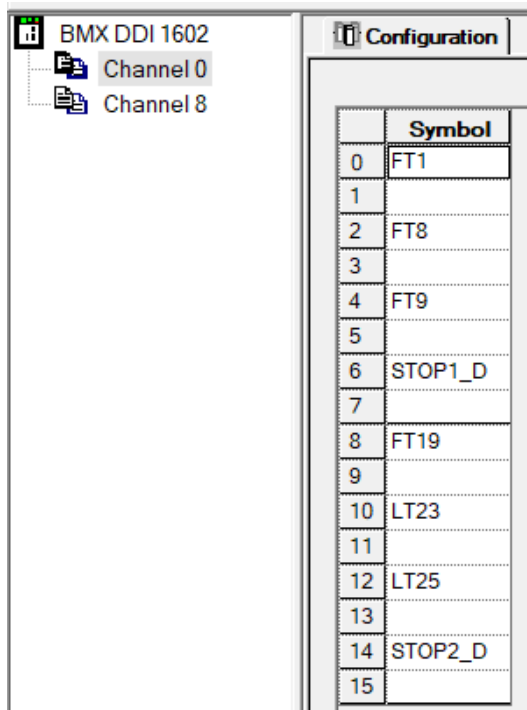


Рис. 4.6. Конфігурування модуля BMX DDI 1602

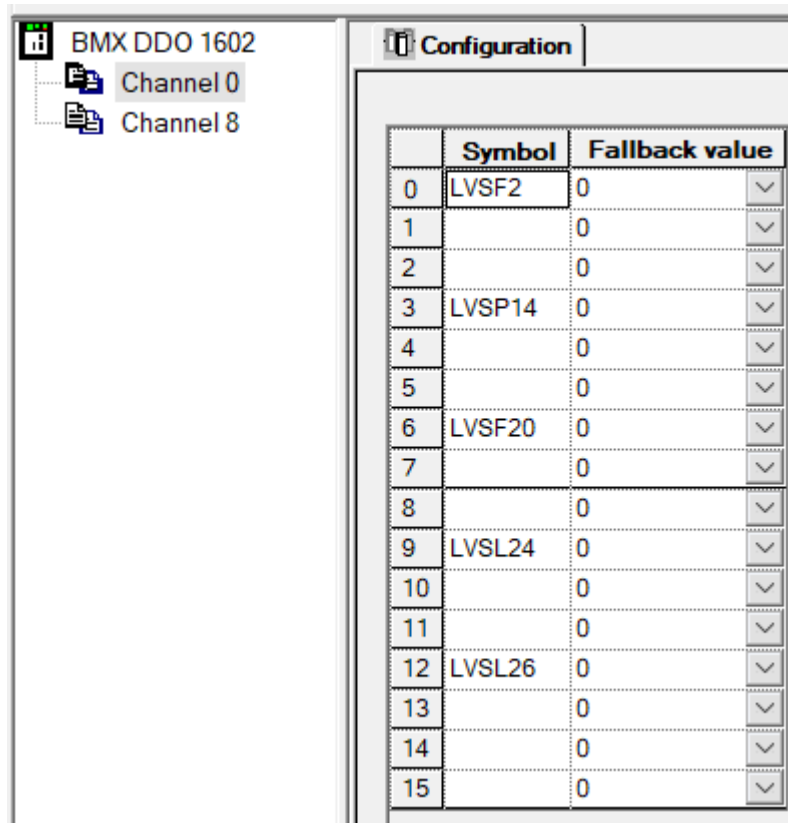


Рис. 4.7. Конфігурування модуля BMX DDO 1602

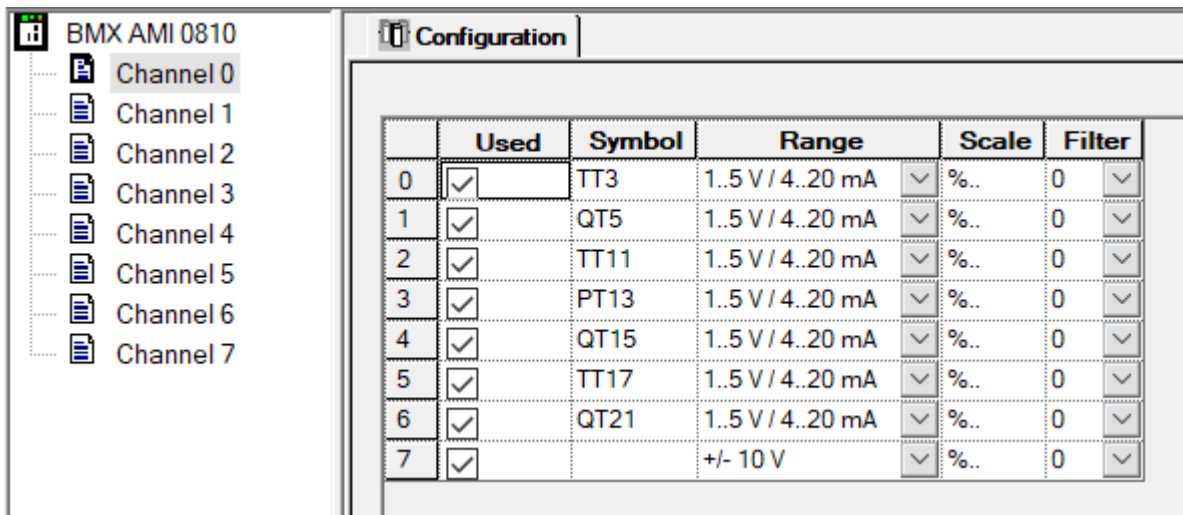


Рис. 4.8. Конфігурування модуля BMX AMI 0810

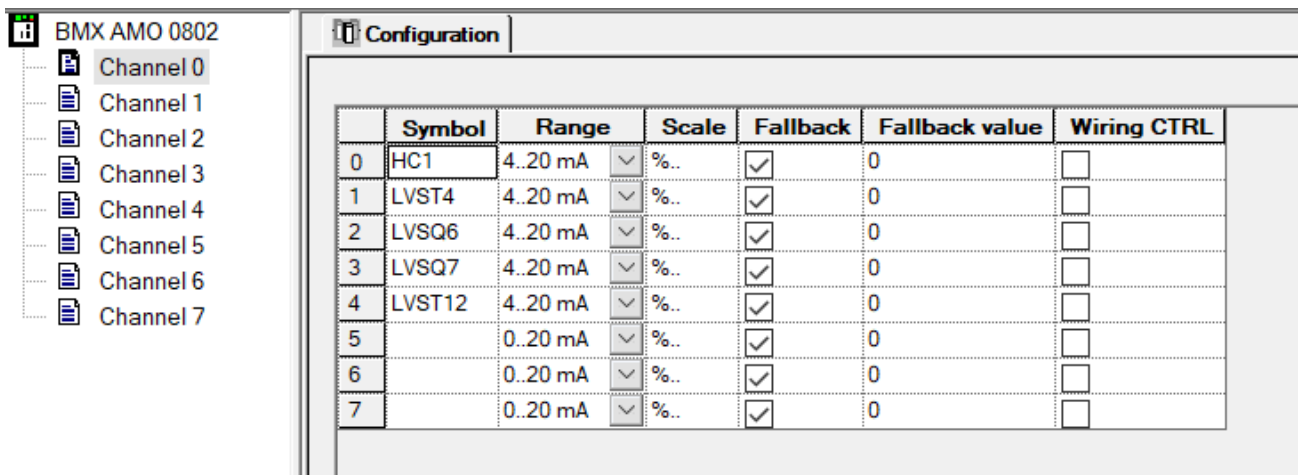


Рис. 4.9. Конфігурування модуля BMX AMO 0802

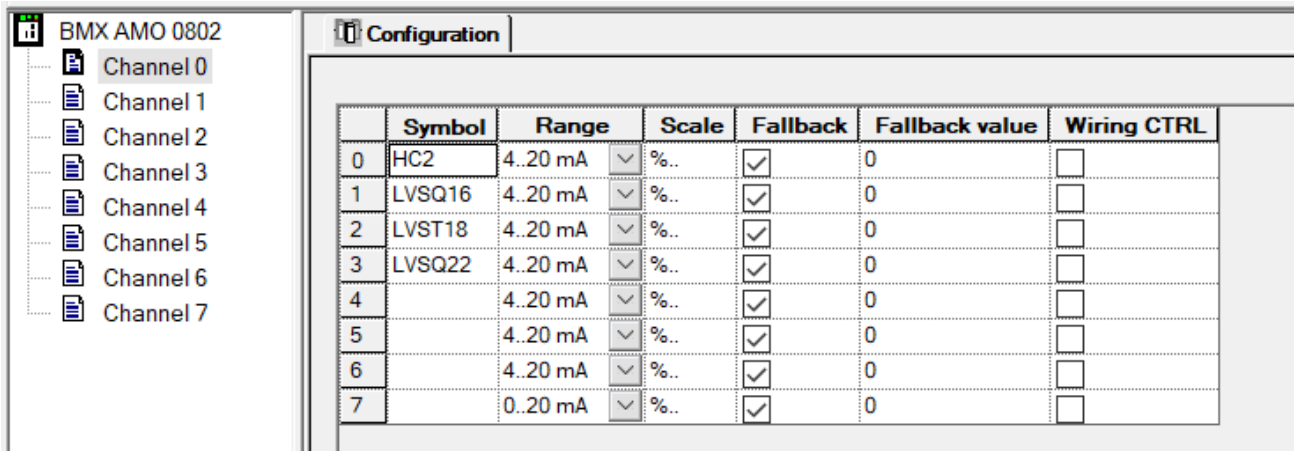


Рис. 4.10. Конфігурування модуля BMX AMO 0802

Технічні змінні. Для приведення вхідних та вихідних сигналів ПЛК до технологічних вимог, необхідно створити технологічні змінні.

LT23_M	EBOOL	TT3_M	REAL	StepProg	INT
LT25_M	EBOOL	QT5_M	REAL	manual_HC1	REAL
STOP1_D_M	EBOOL	TT11_M	REAL	HC2_M	REAL
LVSF2_M	EBOOL	PT13_M	REAL	manual_HC2	REAL
LVSP14_M	EBOOL	QT15_M	REAL	FT1_M	REAL
LVSF20_M	EBOOL	TT17_M	REAL	FT8_M	REAL
LVSL24_M	EBOOL	QT21_M	REAL	FT9_M	REAL
Start_M	EBOOL	LVST4_M	REAL	FT19_M	REAL
STOP_M	EBOOL	LVSQ6_M	REAL	QT5_SP	REAL
TM_Start	EBOOL	LVSQ7_M	REAL	QT21_SP	REAL
AUTO_HC1	EBOOL	HC1_M	REAL	TM_Time	TIME
STOP2_D_M	EBOOL	LVST12_M	REAL		
LVSL26_M	EBOOL	LVSQ16_M	REAL		
AUTO_HC2	EBOOL	LVST18_M	REAL		
		LVSQ22_M	REAL		

Рис. 4.11. Технічні змінні в EcoStructure Control Expert

Масштабування та перетворення входів/виходів. В означеному підпункті потрібно масштабувати технічні змінні, котрі в свою чергу обробляються в секціях «INPUTS» та «OUTPUTS».

На зображенні, котре зазначено нижче, показана секція «INPUTS» в котрій відображено масштабування вхідних аналогових змінних за рахунок функціонального блоку "SCALING".

```
(*масштабування датчиків*)

SCALING_QT5 (IN := INT_TO_REAL(QT5),
            PARA := QT5_PARA,
            OUT => QT5_M); (*масштабування рН соку в переддефекаторі*)

SCALING_QT15 (IN := INT_TO_REAL(QT15),
            PARA := QT15_PARA,
            OUT => QT15_M); (*масштабування рН соку в I сатураторі*)

SCALING_QT21 (IN := INT_TO_REAL(QT21),
            PARA := QT21_PARA,
            OUT => QT21_M); (*масштабування рН соку в II сатураторі*)
```

Рис. 4.12. Масштабування вхідних аналогових сигналів

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

QT5_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	20.0	Upper limit of the out...
clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...
QT15_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	20.0	Upper limit of the out...
clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...
QT21_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	20.0	Upper limit of the out...
clip	BOOL	TRUE	"1": the value of the O...

Рис. 4.13. Налаштування PARA_SCALE відповідно завданню

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

```
(*клапан 0-100% -> 0-10000 *)
LVST18:=real_to_int(LVST18_M*100.0);
LVST12:=real_to_int(LVST12_M*100.0);
LVST4:=real_to_int(LVST4_M*100.0);
LVSQ22:=real_to_int(LVSQ22_M*100.0);
LVSQ16:=real_to_int(LVSQ16_M*100.0);
LVSQ7:=real_to_int(LVSQ7_M*100.0);
LVSQ6:=real_to_int(LVSQ6_M*100.0);

(*БРУ 0-100%(4-20mA) -> 0-10000*)
HC1:=real_to_int(HC1_M*100.0);
HC2:=real_to_int(HC2_M*100.0);

(*дискретні виходи*)
LVSP14 := LVSP14_M;
LVSL24 := LVSL24_M;
LVSF20 := LVSF20_M;
LVSF2 := LVSF2_M;
LVSL26 := LVSL26_M;
```

Рис. 4.14. Масштабування вихідних дискретних/аналогових сигналів

Реалізація контурів регулювання з використання PI В. Реалізація контуру регулювання рН соку в переддефекторі, I та II сатураторах на мові ST зображений нижче.

Налаштування змінних даного контуру показано на рисунку 4.15.

У програмі використовується періодичний виклик 1 раз в секунду за рахунок застосування функціонального блоку SAMPLETM. Режим слідкування потрібний для можливості зміни значення виходу на виконавчий механізм безпосередньо з програми.

```
TC1_QT5 (t#1s, 0); (*генератор імпульсів 1с*)
  TC1 (EN := TC1_QT5.Q, (*викликати раз в секунду*)
    PV := QT5_M, (*дійсне маштабоване значення температури*)
    SP := QT5_SP, (*задане значення*)
    MAN_AUTO := TC1_AUTO, (*перемикач авто/руч*)
    PARA := TC1_PARA, (*параметри регулятора*)
    TR_I := LVSQ6_M, (*значення режиму слідкування = значення клапану*)
    TR_S := TC1_TRON, (*включення режиму слідкування*)
    OUT := LVSQ6_M); (*значення на ВМ*)

TC2_QT15 (t#1s, 0); (*генератор імпульсів 1с*)
  TC2 (EN := TC2_QT15.Q, (*викликати раз в секунду*)
    PV := QT15_M, (*дійсне маштабоване значення температури*)
    SP := QT15_SP, (*задане значення*)
    MAN_AUTO := TC2_AUTO, (*перемикач авто/руч*)
    PARA := TC2_PARA, (*параметри регулятора*)
    TR_I := LVSQ16_M, (*значення режиму слідкування = значення клапану*)
    TR_S := TC2_TRON, (*включення режиму слідкування*)
    OUT := LVSQ16_M); (*значення на ВМ*)

TC3_QT21 (t#1s, 0); (*генератор імпульсів 1с*)
  TC3 (EN := TC3_QT21.Q, (*викликати раз в секунду*)
    PV := QT21_M, (*дійсне маштабоване значення температури*)
    SP := QT21_SP, (*задане значення*)
    MAN_AUTO := TC3_AUTO, (*перемикач авто/руч*)
    PARA := TC3_PARA, (*параметри регулятора*)
    TR_I := LVSQ22_M, (*значення режиму слідкування = значення клапану*)
    TR_S := TC3_TRON, (*включення режиму слідкування*)
    OUT := LVSQ22_M); (*значення на ВМ*)
```

Рис. 4.15. Реалізація контуру регулювання рН соку в переддефекторі, I та II сатураторах

	TC1_PARA	Para_PI_B			
	id	UINT			Reserved for autotun...
	pv_inf	REAL	0.0		Lower limit of the pro...
	pv_sup	REAL	20.0		Upper limit of the pro...
	out_inf	REAL	0.0		Lower limit of the outp...
	out_sup	REAL	100.0		Upper limit of the out...
	rev_dir	BOOL	FALSE		0: direct action of the ...
	en_rcpy	BOOL	FALSE		1: the RCPY input is u...
	kp	REAL	1.8		Proportional contribut...
	ti	TIME	t#3s		Integral time
	dband	REAL	0.1		Dead zone on deviat...
	outbias	REAL			Manual adjustment of...
	TC2_PARA	Para_PI_B			
	id	UINT			Reserved for autotun...
	pv_inf	REAL	0.0		Lower limit of the pro...
	pv_sup	REAL	20.0		Upper limit of the pro...
	out_inf	REAL	0.0		Lower limit of the outp...
	out_sup	REAL	100.0		Upper limit of the out...
	rev_dir	BOOL	TRUE		0: direct action of the ...
	en_rcpy	BOOL	FALSE		1: the RCPY input is u...
	kp	REAL	2.0		Proportional contribut...
	ti	TIME	t#5s		Integral time
	dband	REAL	0.1		Dead zone on deviat...
	outbias	REAL			Manual adjustment of...
	TC3_PARA	Para_PI_B			
	id	UINT			Reserved for autotun...
	pv_inf	REAL	0.0		Lower limit of the pro...
	pv_sup	REAL	20.0		Upper limit of the pro...
	out_inf	REAL	0.0		Lower limit of the outp...
	out_sup	REAL	100.0		Upper limit of the out...
	rev_dir	BOOL	TRUE		0: direct action of the ...
	en_rcpy	BOOL	FALSE		1: the RCPY input is u...
	kp	REAL	2.0		Proportional contribut...
	ti	TIME	t#5s		Integral time
	dband	REAL	0.1		Dead zone on deviat...
	outbias	REAL			Manual adjustment of...

Рис. 4.16. Змінні для контуру регулювання рН соку в переддефекаторі, I та II сатураторах

Реалізація логіко-командних задач. На відміну від контурів регулювання та функції обробки, котрі мають виконуватися постійно, логіко-командні задачі мають

початок і кінець. В даному випадку було застосовано мову ST та інструкцію вибору «CASE».

Мова ST (Structured Text, структурований текст) – це текстова мова, котра подібна до PASCAL, C, BASIC і т.п. Дана мова не є виразна, в порівнянні з іншими графічними мовам, але вона універсальна і найкраще підходить для виконання складної логіки, громіздких обчислень і операцій з циклами і масивами.

```
Timer(TM_Start, TM_Time);

CASE StepProg of
0:
    LVSF2_M:=FALSE;
    LVST4_M:=0.0;
    LVSQ7_M:=0.0;
    LVST12_M:=0.0;
    LVSP14_M:=FALSE;
    LVSL24_M:=FALSE;
    LVST18_M:=0.0;
    LVSF20_M:=FALSE;
    LVSL24_M:=FALSE;
    StepProg:=1;
1:
if Start_M then
    TM_Time:= T#400s;
    TM_Start:=true;
    LVSF2_M:=TRUE;
    LVST4_M:=20.0;
    TT3_M:=40.0;
    StepProg:=2;
END_IF;
2:
if Timer.ET=T#20s then
    TC1_AUTO:=true;
    TC1_TRON:=false;
    QT5_SP:=11.2;
    StepProg:=3;
END_IF;
```

Рис. 4.17. Реалізація програми користувача


```

3:
if Timer.ET=T#80s then
    LVSQ7_M:=30.0;
    StepProg:=4;
END_IF;

4:
if Timer.ET=T#100s then
    AUTO_HC1:=true;
    LVST12_M:=60.0;
    StepProg:=5;
END_IF;

5:
if Timer.ET=T#150s then
    LVSP14_M:=true;
    TC2_AUTO:=true;
    TC2_TRON:=false;
    QT15_SP:=12.0;
    StepProg:=6;
END_IF;

6:
if Timer.ET=T#210s then
    LT23_M:=TRUE;
    StepProg:=7;
END_IF;

7:
if LT23_M then
    LVSL24_M:=TRUE;
    StepProg:=8;
END_IF;

```

Рис. 4.18. Реалізація програми користувача


```

8:
if Timer.ET=T#250s then
    AUTO_HC2:=true;
    LVST18_M:=80.0;
    StepProg:=9;
END_IF;

9:
if Timer.ET=T#280s then
    LVSF20_M:=TRUE;
    StepProg:=10;
END_IF;

10:
if QT21_M >= 12.0 then
    TC3_AUTO:=true;
    TC3_TRON:=false;
    QT21_SP:=9.5;
    StepProg:=11;
END_IF;

11:
if Timer.Q then
    LT25_M:=TRUE;
    StepProg:=12;
END_IF;

12:
if LT25_M then
    LVSL24_M:=TRUE;
    StepProg:=13;
END_IF;

13:
if not Stop_M then
    StepProg:=0;
end_if;
end_case;

```

Рис. 4.19. Реалізація програми користувача

Налагодження програмного забезпечення на діючому обладнанні або імітаторі ПЛК. Для налагодження роботи регуляторів контурів потрібно мати зворотній сигнал від об'єкта управління.

При відсутності об'єкта управління значення технологічної змінної можна імітувати. Для найпростішої імітації можна використати аперіодичну ланку 1-го порядку.

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

```
%M100:=%S5; (* бітовий меандер з періодом 100 мс*)
%M101:=RE(%M100); (*імпульс кожні 100 мс*)

if %M101 then

(*Імітація витрати дифузійного соку на переддефекатор*)
if LVSF2_M and %M101 then
    FT1_M:= FT1_M + 0.07517743;
end_if;
(*Імітація витрати вапняного молока на переддефекатор*)
if LVSQ6_M>=1.0 and %M101 then
    FT8_M:= FT8_M + 0.00157528;
end_if;
(*Імітація витрати вапняного молока на холодний дефекатор*)
if LVSQ7_M>=1.0 and %M101 then
    FT9_M:= FT9_M + 0.00281259;
end_if;
(*Імітація витрати вапняного молока на гарячий дефекатор перед ІІ сатурацієх*)
if LVSF20_M AND %M101 then
    FT19_M:= FT19_M + 0.00250001;
end_if;

end_if;

(*Імітація температури перед переддефекатором*)

if LVST4_M>=1.0 then
    TT3_M:=40.0;
end_if;

if LVST4_M<=1.0 then
    TT3_M:=15.0;
end_if;
```

Рис. 4.20. Імітація змінних

```

(*Імітація температури перед гарячим дефекатором*)

if LVST12_M>=1.0 then
    TT11_M:=85.0;
end_if;

if LVST12_M<=1.0 then
    TT11_M:=15.0;
end_if;

(*Імітація температури перед гарячим дефекаторо перед II сатурацієк*)

if LVST18_M>=1.0 then
    TT17_M:=95.0;
end_if;

if LVST18_M<=1.0 then
    TT17_M:=15.0;
end_if;

(*Імітація тиску сатураційного газу в трубопроводі*)
if LVSP14_M then
    PT13_M:=50.0;
end_if;

if NOT LVSP14_M then
    PT13_M:=10.0;
end_if;

(*Імітація рівня в збірнику після I сатурації*)
if LVSL24_M then
    LT23_M:=TRUE;
end_if;

(*Імітація рівня в збірнику після II сатурації*)
if LVSL26_M then
    LT25_M:=TRUE;
end_if;

```

Рис. 4.21. Імітація змінних

```

(*Імітація рН соку в переддефекторі*)
LAG_QT5 (IN := INT_TO_REAL(LVSQ6), (*вхід об'єкта - значення ВМ*)
        GAIN := 1.6, (*коефіцієнт підсилення*)
        LAG := T#30S); (*стала часу*)
QT5 := WRITE_INPUT_INT (*функція для запису в %IW*)
(3000 + (*зміщення відносно початку діапазону*)
 real_to_int(LAG_QT5.out)); (*вихід з аперіодичної ланки*)
(*Імітація рН соку в I сатураторі*)
LAG_QT15 (IN := INT_TO_REAL(LVSQ16), (*вхід об'єкта - значення ВМ*)
        GAIN := 2.0, (*коефіцієнт підсилення*)
        LAG := T#30S); (*стала часу*)
QT15 := WRITE_INPUT_INT (*функція для запису в %IW*)
(7500 + (*зміщення відносно початку діапазону*)
 real_to_int(-LAG_QT15.out)); (*вихід з аперіодичної ланки*)
(*Імітація рН соку в II сатураторі*)

LAG_QT21 (IN := INT_TO_REAL(LVSQ22), (*вхід об'єкта - значення ВМ*)
        GAIN := 2.0, (*коефіцієнт підсилення*)
        LAG := T#30S); (*стала часу*)
QT21 := WRITE_INPUT_INT (*функція для запису в %IW*)
(6000 + (*зміщення відносно початку діапазону*)
 real_to_int(-LAG_QT21.out)); (*вихід з аперіодичної ланки*)

```

Рис. 4.22. Імітація рН соку за рахунок функціонального блоку LAG_FILTER

Далі я виконала реалізацію автоматичного і ручного режимів роботи двигунів і також реалізацію кнопок аварійної зупинки двигунів.

```

(*реалізація авто/руч режиму роботи двигуна*)

if AUTO_HC1 then
    HC1_M:=50.0;
else
    HC1_M:=manual_HC1;
end_if;

(*реалізація кнопки аварійної*)

if STOP1_D_M then
    HC1_M:=0.0;
end_if;

(*реалізація авто/руч режиму роботи двигуна*)

if AUTO_HC2 then
    HC2_M:=50.0;
else
    HC2_M:=manual_HC2;
end_if;

(*реалізація кнопки аварійної*)

if STOP2_D_M then
    HC2_M:=0.0;
end_if;

```

Рис. 4.23. Реалізація кнопок аварійної зупинки двигунів і авто/руч режиму роботи двигунів

Для перевірки роботи контуру регулювання рН соку в переддефекаторі, I та II сатураторах було використано сторінку з відображенням плинного стану контуру регулювання та елементами його керування.

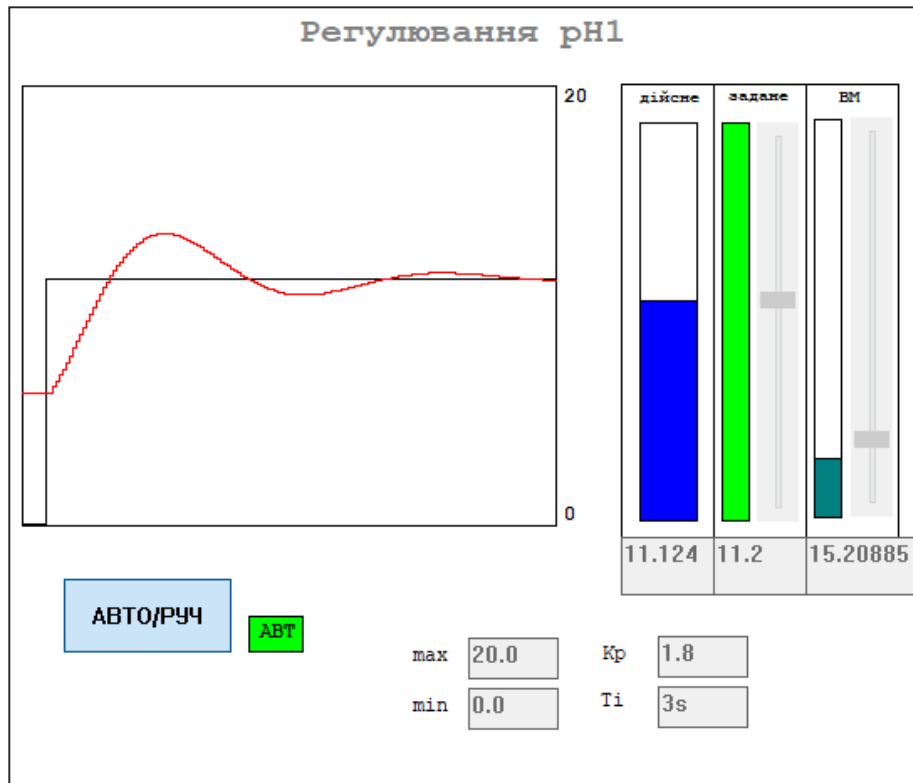


Рис. 4.24. Перевірка роботи контуру регулювання рН соку в переддефекторі

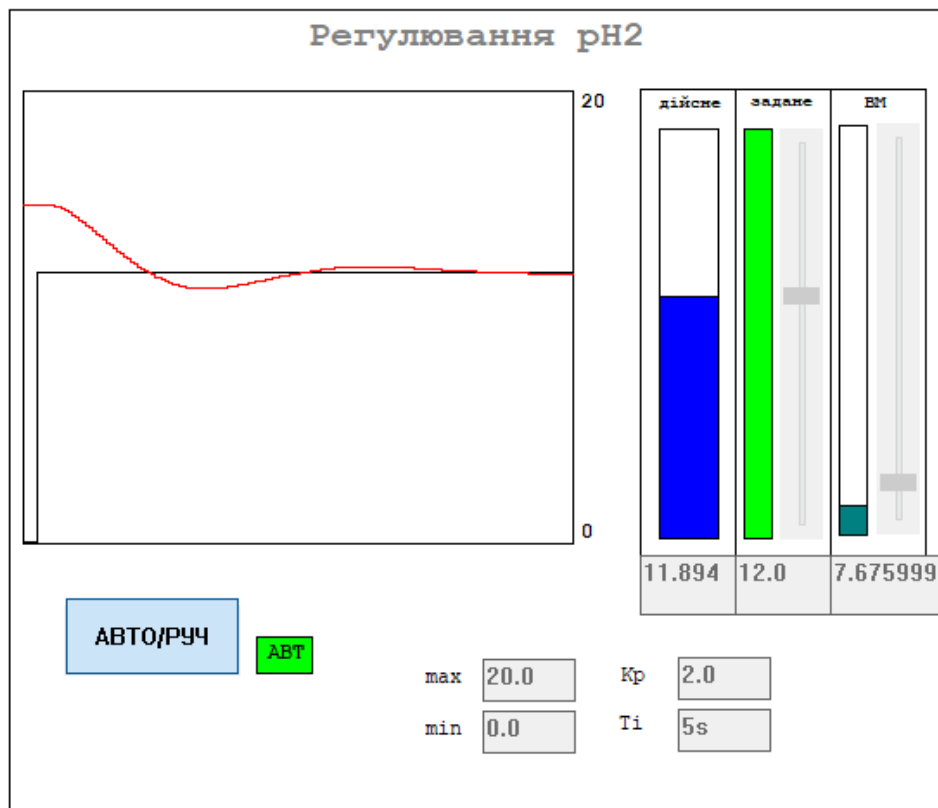


Рис. 4.25. Перевірка роботи контуру регулювання рН соку в І сатураторі

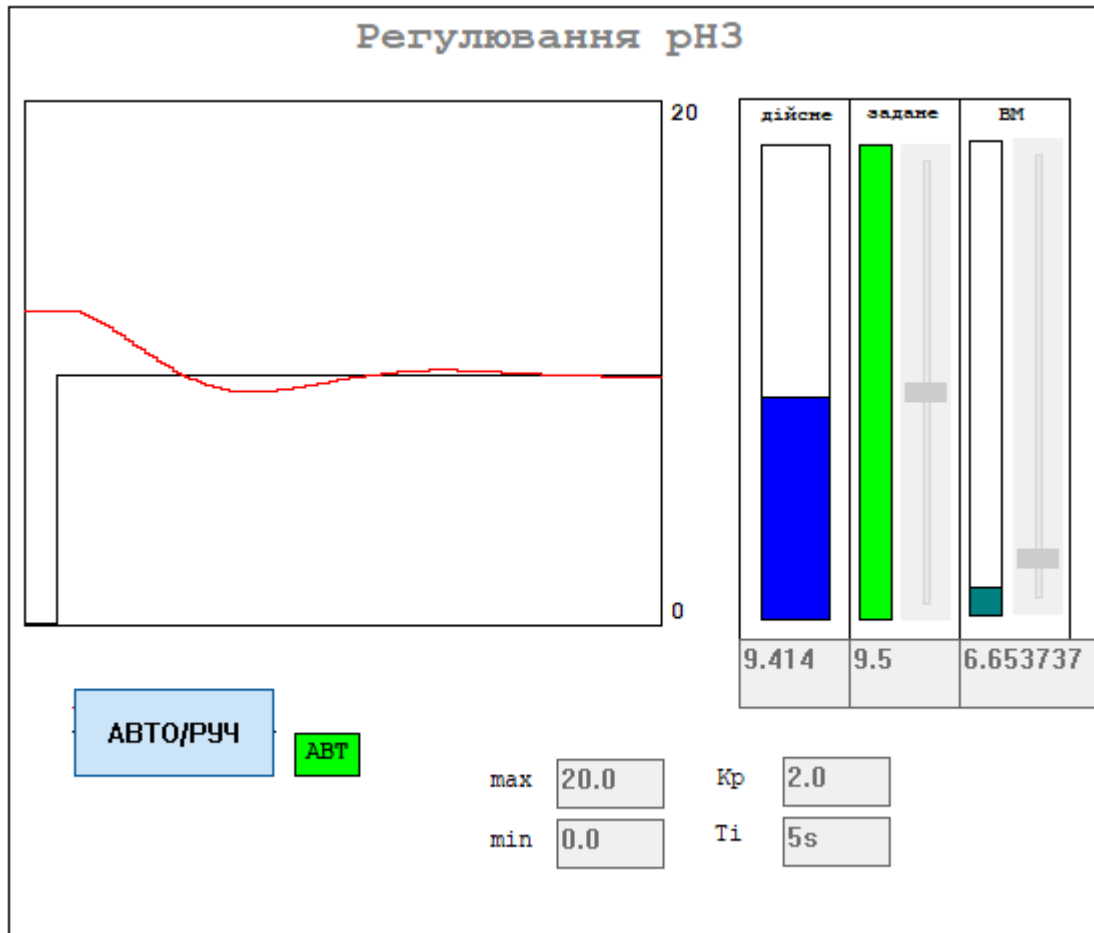


Рис. 4.26. Перевірка роботи контуру регулювання рН соку в II сатураторі

4.2. Розробка людино-машинного інтерфайсу оператора технолога

В цукровому виробництві мають велику вагу якісні показники сировини (буряку), котрі на пряму впливають на здійснення технологічного процесу.

Навіть у досконалих системах іноді трапляються не передбачувані ситуації, такі як поломка обладнання або попадання інших сторонніх речовинами, котрі погіршують технологічний процес.

Всі системи управління будь-яким технологічним процесом можуть своєчасно реагувати на всі виникнувші ситуації, надсилаючи аварійні сигнали або ж самостійно зупиняючи обладнання та устаткування. Однак, рішення про це має бути прийняте людиною (персоналом). Для подальшої роботи необхідно мати повну інформацію про подію та можливості дистанційного та ручного керування ВМ.

Всі перераховані ситуації повинні передбачати можливість обов'язкового залучення людини. У будь-якому випадку потрібен зв'язок. Котрий дозволяє контролювати стан певного процесу або ж всієї системи в цілому, а також втручатися в процес управління.

Або ж інакше потрібно в обов'язковому порядку в систему управління заздалегідь передбачити людино-машинний інтерфейс (НМІ – Human-Machine Interface).

Для реалізації поставлених вимог я використала програму Citect Studio, котра є зрозумілою в плані застосування та надійною у плані зв'язку з EcoStruxure Control Expert.

Роботу я розпочинаю з створення нового проекту на основі вже існуючого шаблону.

З початку потрібно перенести технічні змінні, котрі вже існують в EcoStruxure Control в Citect Studio.

Для запису змінних застосовую «Редактор проектів».

Всі змінні, котрі використовувалися в даному проекті вказані на рисунку нижче.

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

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

Теги

Имя дескрип	Устройство	Тип данных	Адрес	Ед.	П	Ф	Нес	Необработ.	Мин. :	Макс. знач.	Сг.	Проект
TT17_M	IOD	REAL	%MW110			###.##	0	150	0	150		HMI_SAT (2)
TT11_M	IOD	REAL	%MW104			###.##	0	150	0	150		HMI_SAT (2)
TT3_M	IOD	REAL	%MW100			###.##	0	150	0	150		HMI_SAT (2)
STOP_M	IOD	DIGITAL	%M14			###.##						HMI_SAT (2)
STOP2_D_M	IOD	DIGITAL	%M18			###.##						HMI_SAT (2)
STOP1_D_M	IOD	DIGITAL	%M6			###.##						HMI_SAT (2)
QT21_M	IOD	REAL	%MW112			###.##	0	20	0	20		HMI_SAT (2)
TM_Time	IOD	ULONG	%MW400			###.##						HMI_SAT (2)
TM_Start	IOD	DIGITAL	%M15			###.##						HMI_SAT (2)
QT15_M	IOD	REAL	%MW108			###.##	0	20	0	20		HMI_SAT (2)
QT5_SP	IOD	REAL	%MW150			###.##						HMI_SAT (2)
QT5_M	IOD	REAL	%MW102			###.##	0	20	0	20		HMI_SAT (2)
PT13_M	IOD	REAL	%MW106	kPa		###.##	0	150	0	150		HMI_SAT (2)
manual_HC2	IOD	REAL	%MW136			###.##	0	100	0	100		HMI_SAT (2)
manual_HC1	IOD	REAL	%MW132			###.##	0	100	0	100		HMI_SAT (2)
LVST18_M	IOD	REAL	%MW126			###.##	0	100	0	100		HMI_SAT (2)
LVST12_M	IOD	REAL	%MW122			###.##	0	100	0	100		HMI_SAT (2)
LVST4_M	IOD	REAL	%MW114			###.##	0	100	0	100		HMI_SAT (2)
LVSQ22_M	IOD	REAL	%MW128			###.##	0	100	0	100		HMI_SAT (2)

Компилировать сообщения

Рис. 4.27. Змінні теги в Citect Studio

Найти свойства

Имя элемента

Общие

Имя дескриптора: TT17_M

Имя кластера

Устройство IO: IOD

Тип данных: REAL

Адрес: %MW110

Примечание

Зона нечувствительности

Единицы измерения

Формат: ###.##

Масштаб

Необработанный нулевой ма: 0

Необработанный полный мас: 150

Мин. значение в единицах из: 0

Макс. значение в единицах и: 150

Пользовательский

Польз. 1

Рис. 4.28. Приклад налаштування змінних тег

Також в цьому редакторі можна налаштувати параметри трендів і тривоги.

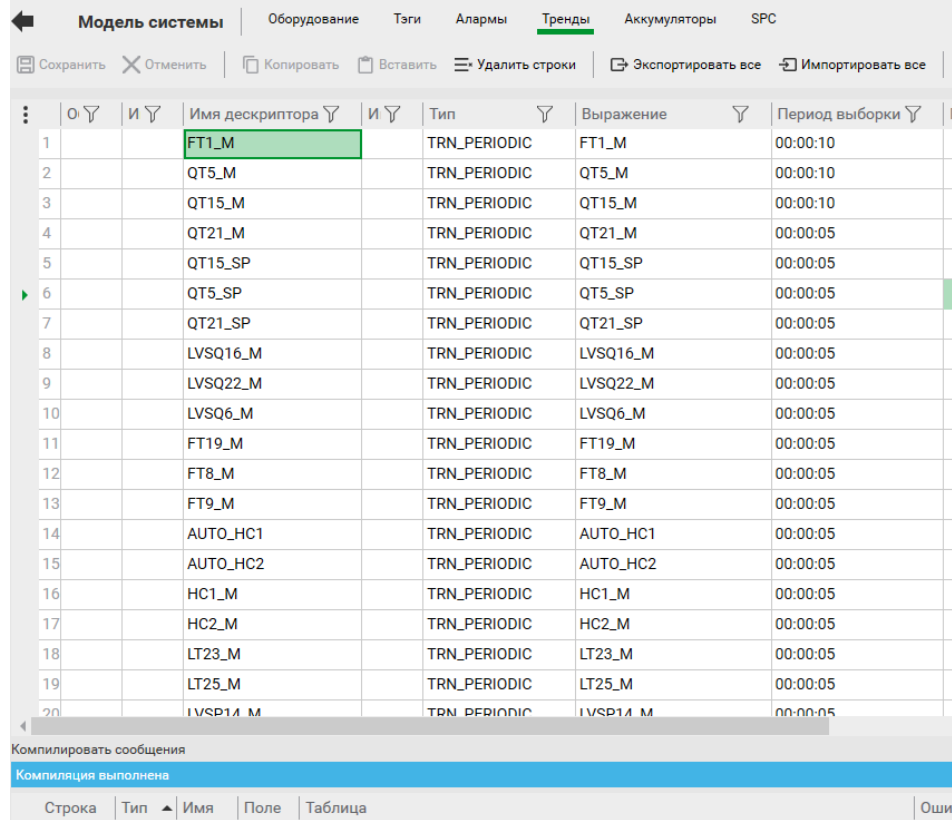


Рис. 4.29. Вікно трендів в Citect Studio

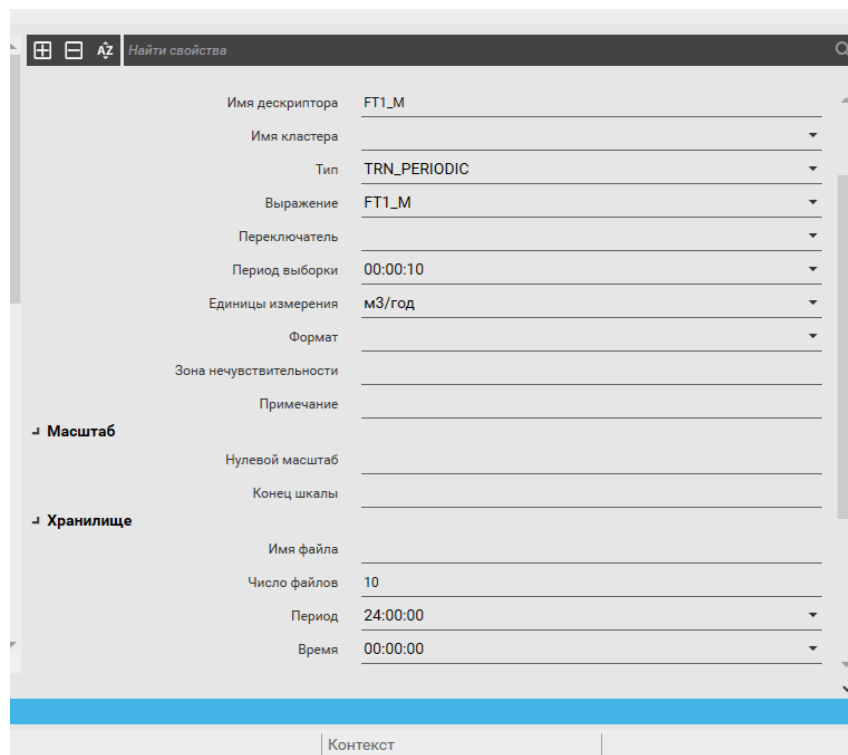


Рис. 4.30. Приклад налаштування трендів

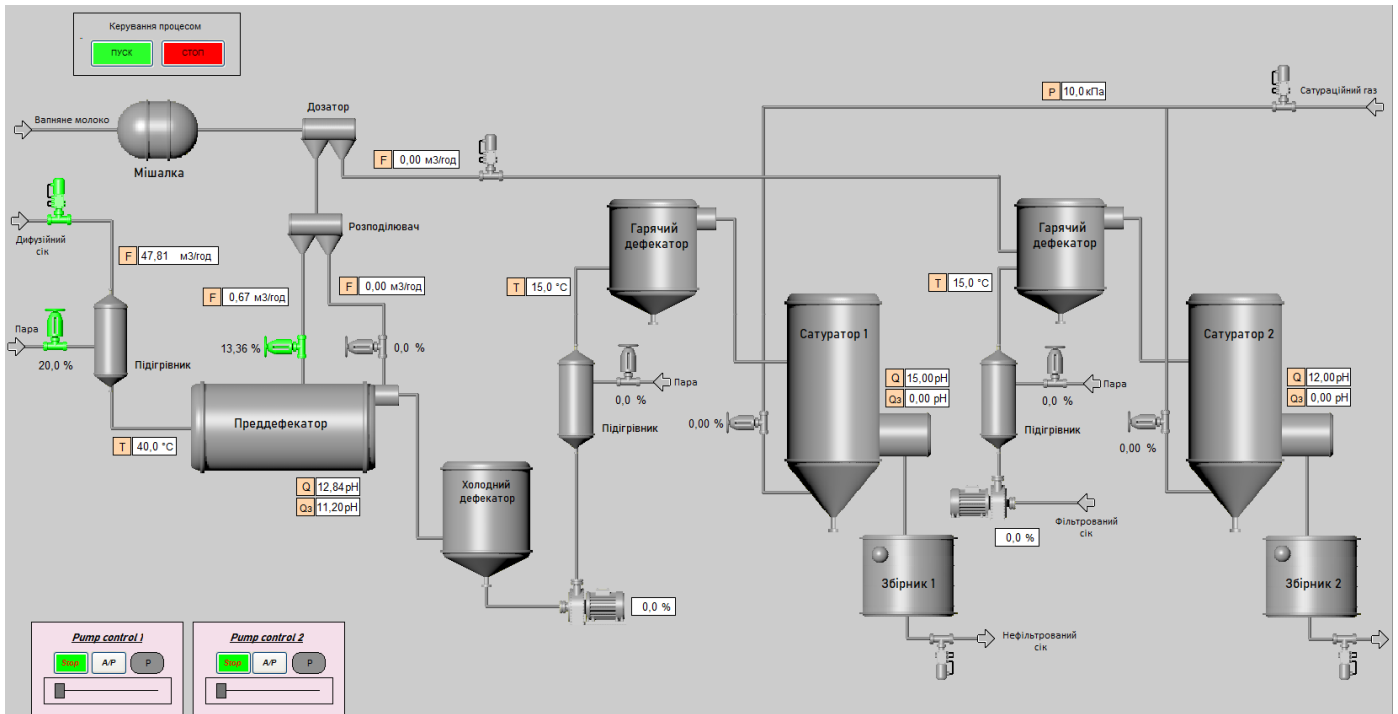


Рис. 4.31. Відеокадри до початку запуску роботи SCADA-системи

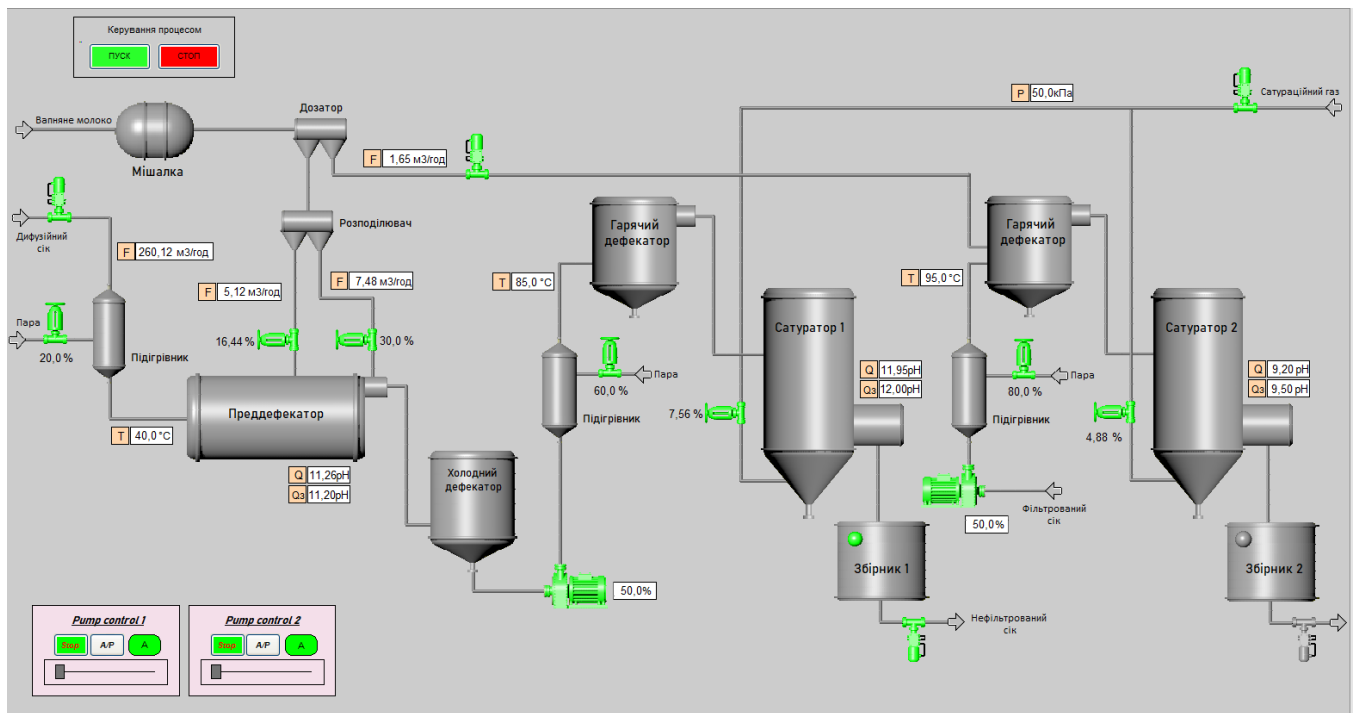


Рис. 4.32. Відеокадри в кінці роботи SCADA-системи

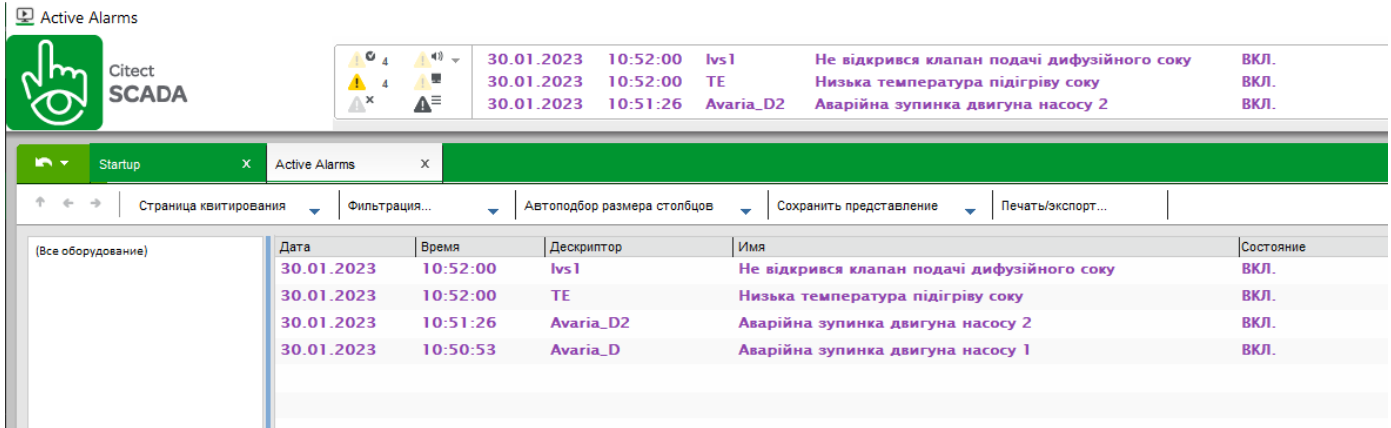
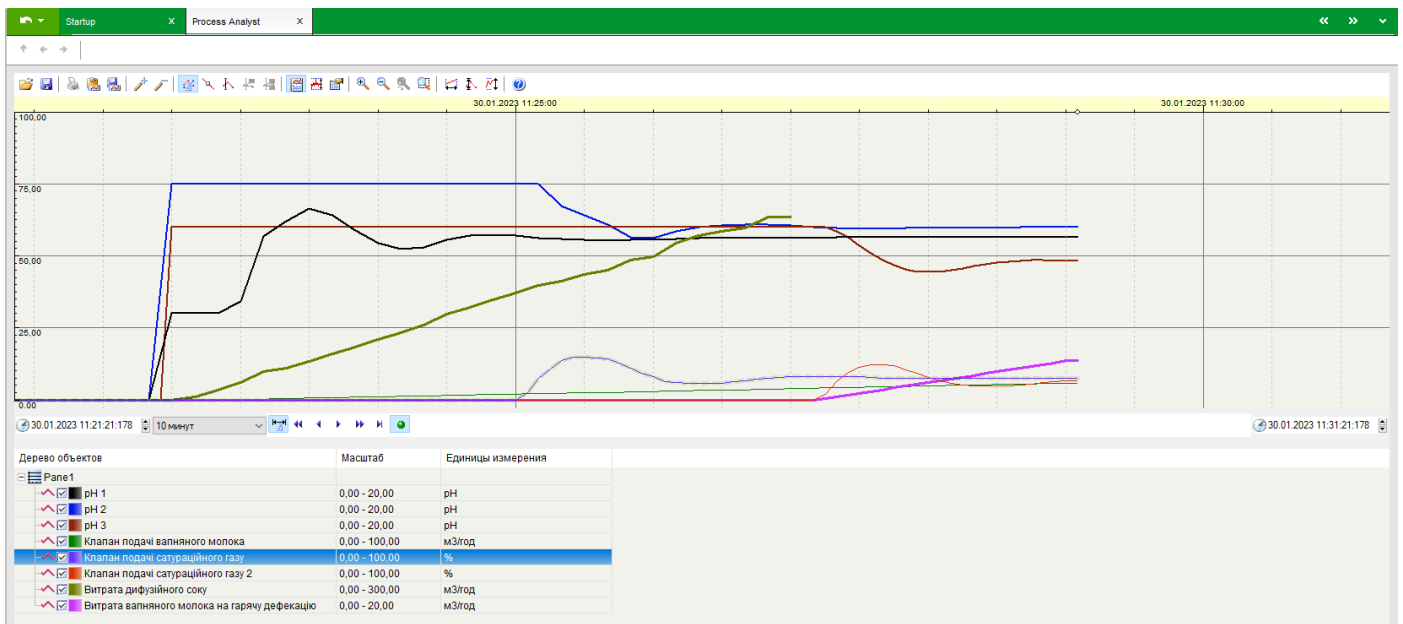


Рис. 4.33. Вікно тривоги



Об'єкт	Масштаб	Единиці вимірювання
рН 1	0,00 - 20,00	рН
рН 2	0,00 - 20,00	рН
рН 3	0,00 - 20,00	рН
Клапан подачі вапняного молока	0,00 - 100,00	м3/год
Клапан подачі сатураційного газу	0,00 - 100,00	%
Клапан подачі сатураційного газу 2	0,00 - 100,00	%
Витрата дифузійного соку	0,00 - 300,00	м3/год
Витрата вапняного молока на гарячу дефекацію	0,00 - 20,00	м3/год

Рис. 4.34. Вікно трендів

4.3. Комп'ютерне моделювання системи автоматичного регулювання

Вибір об'єкта керування та його математична модель. Мною було обрано контур регулювання рН соку в переддефекаторі для комп'ютерного моделювання системи. Так як даний параметр являється одним з головних та від якого підпорядковується вихідні якісні показники отриманого відсатурованого соку.

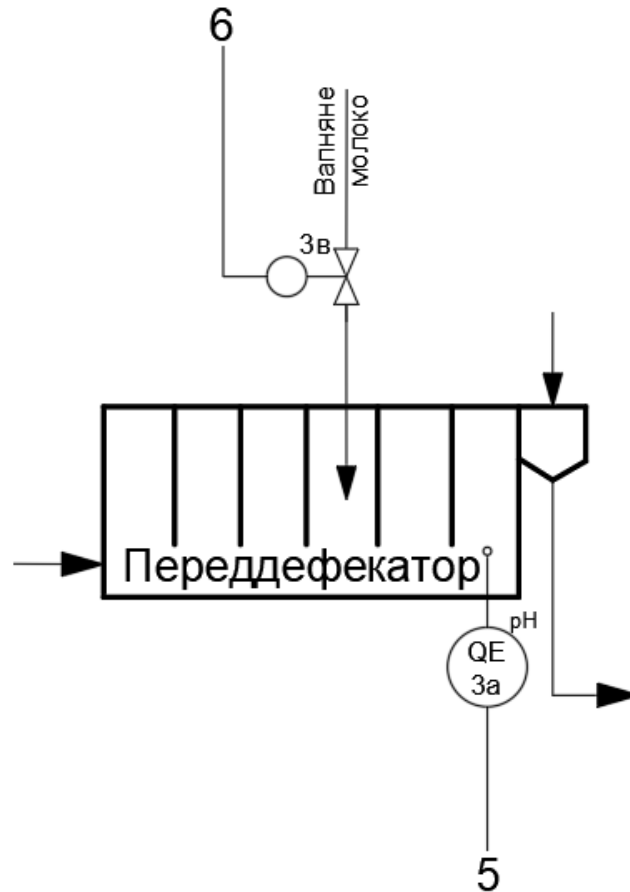


Рис. 4.35. Контур регулювання рН соку в переддефекаторі

Основною метою при структуруванні математичної моделі являється окреслювання вхідних та вихідних сигналів.

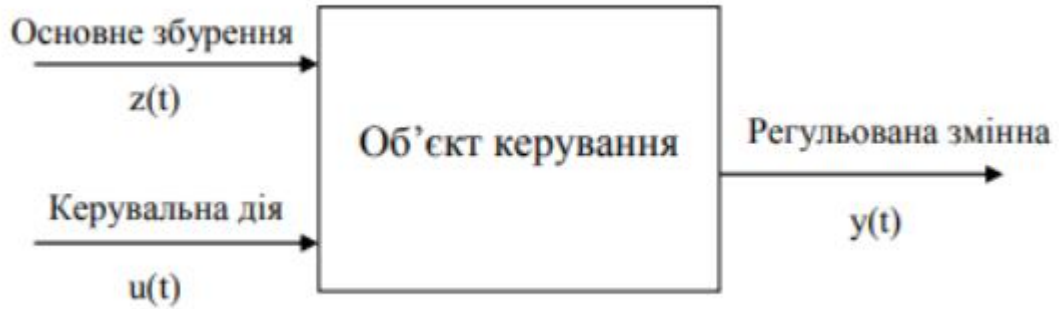


Рис. 4.36. Параметрична схема об'єкта

Точка автоматичної системи або пристрою, до якої прикладена якась дія, має назву входу $u(t)$, а точка, в якій спостерігаємо ефект, викликаний даною дією має назву – виходу $y(t)$, $z(t)$ має назву зовнішньої дії, тобто дії зовнішнього середовища, а під внутрішньою дією розуміється дія однієї частини автоматичної системи на іншу в системі автоматичного керування.

Основне збурення	Початкове значення рН соку в переддефекторі
Керуюча дія	Клапан подачі вапняного молока з мішалки, %ХРО (% ходу регулюючого органу)
Регульована змінна	Задане значення рН соку в переддефекторі

І також визначила склад математичної моделі переддефектора:

Аперіодична ланка	$W_1(s) = \frac{k}{Ts + 1}$
Ланка підсилення	$W_4(s) = e^{\tau_{zn}s}$

Моделювання САР. Для початку потрібно створити структурну схему математичної моделі переддефектора в середовищі Simulink за рахунок прикладних програм Matlab.

Дана схема має таке оформлення:

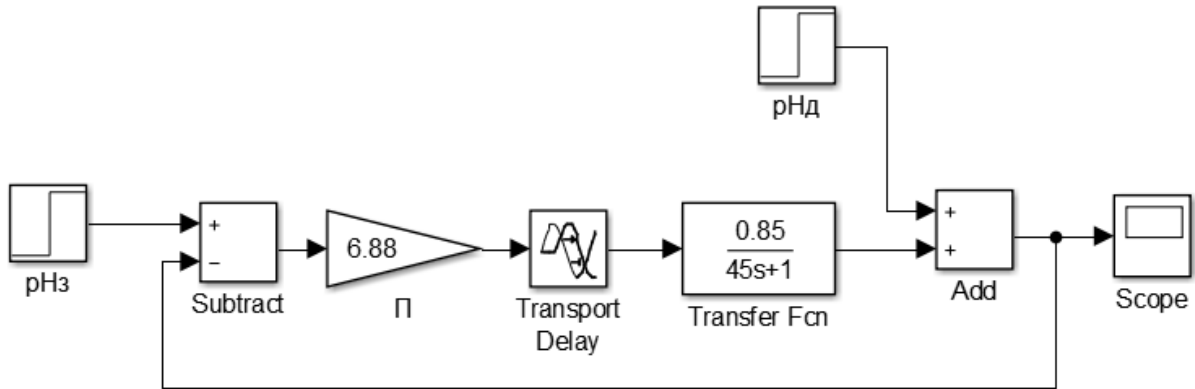


Рис. 4.36. Структурна схема з П-регулятором

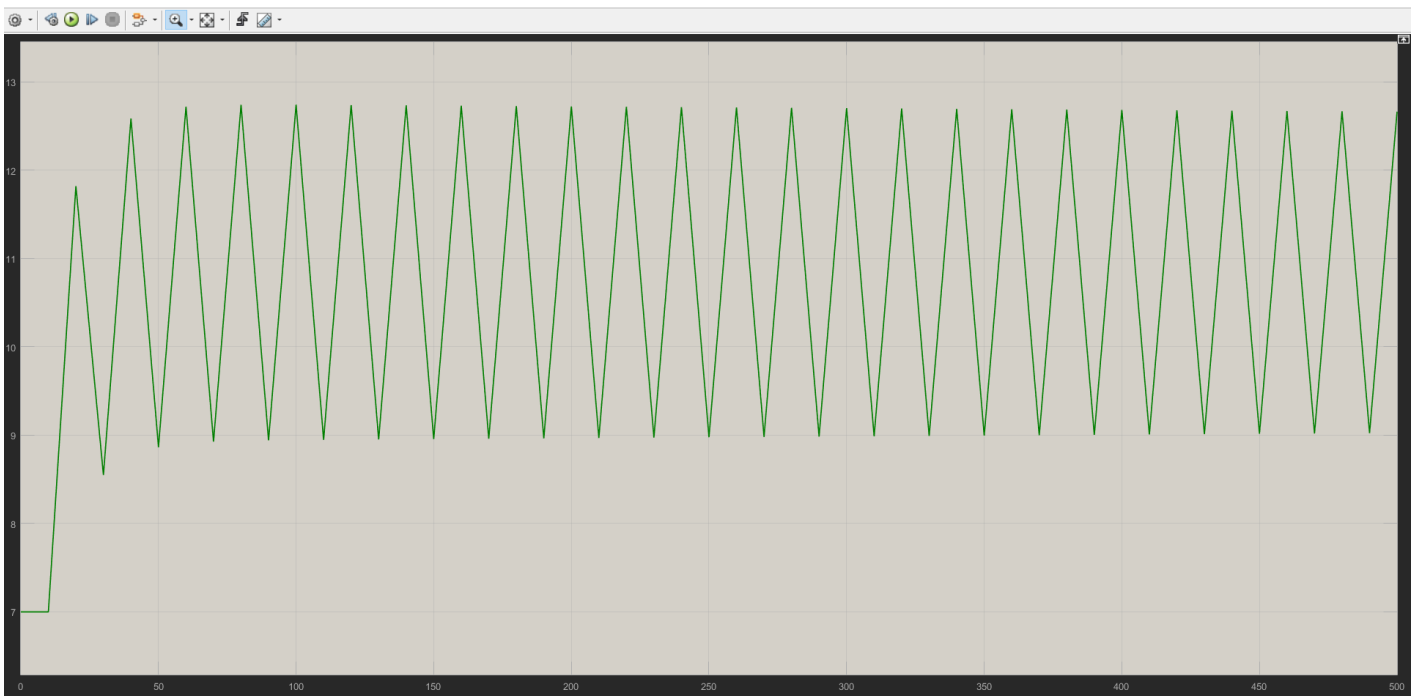


Рис. 4.38. Перехідний процес з застосуванням П-регулятора

Відповідно до перехідного процесу, можна зробити результат, що П-регулятор не забезпечую стійкість даної системи, оскільки видно що система перебуває на межі стійкості. (при $k_{кр} = 6.88$ і $T_{кр} = 20$).

Наступним кроком, мною було визначено настройки ПІД-регулятора за методом Циглера-Нікольса, котрий відомий з попередніх курсів:

$$k_p = 0.45 * k_{кр} = 0.45 * 6.88 = 3.096$$

$$T_i = \frac{T_{кр}}{1.2} = \frac{20}{1.2} = 16.6$$

$$k_i = \frac{k_p}{T_i} = \frac{3.096}{16.6} = 0.1865$$

Знайдені коефіцієнти забезпечують оптимальні настройки ПІ-регулятора. Тому доповнюємо вже існуючу структурну схему таким чином:

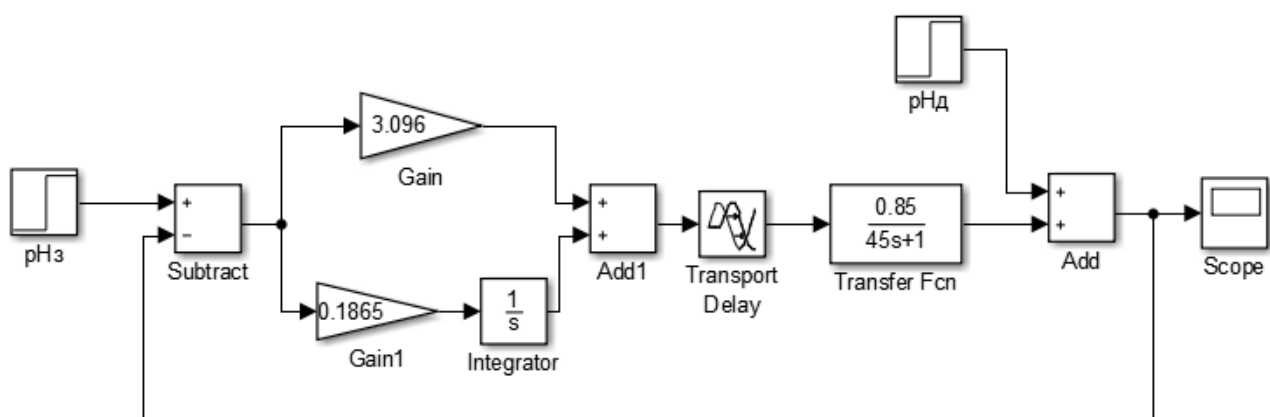


Рис. 4.39. Структурна схема САР з ПІ-регулятором

Таким чином одержала наступний перехідний процес:

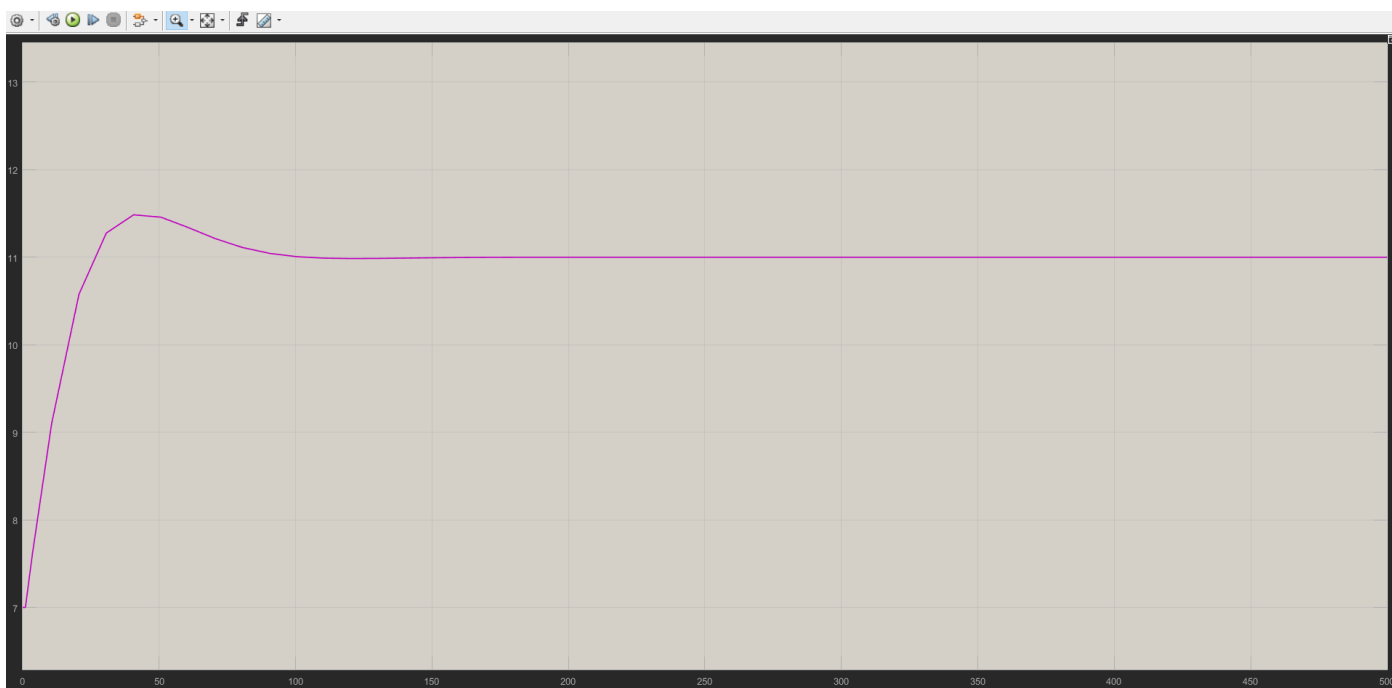


Рис. 4.40. Перехідний процес з застосуванням ПІ-регулятора

Отримані оптимальні настройки ПІ-регулятора надають кращий критерій якості перехідного процесу, відносно попереднього з використанням П-регулятора.

Тобто з зображення перехідного процесу видно, що динамічна похибка є мінімальною, перерегулювання відсутнє, час перехідного процесу є мінімальний, а також, неможливо порахувати ступінь затухання перехідного процесу, так як відсутня третя амплітуда.

Синтез АСР із застосуванням нечіткого регулятора. Для покращення перехідного процесу, в котрому застосовується ПІ-регулятор, для регулювання рН соку в переддефекаторі я скористалась створенням системи нечіткого логічного висновку. В даній системі використала нечіткий регулятор, котрий працює за алгоритмом Сугено.

Побудована структура нечіткого регулятора зображено на рисунку 1.

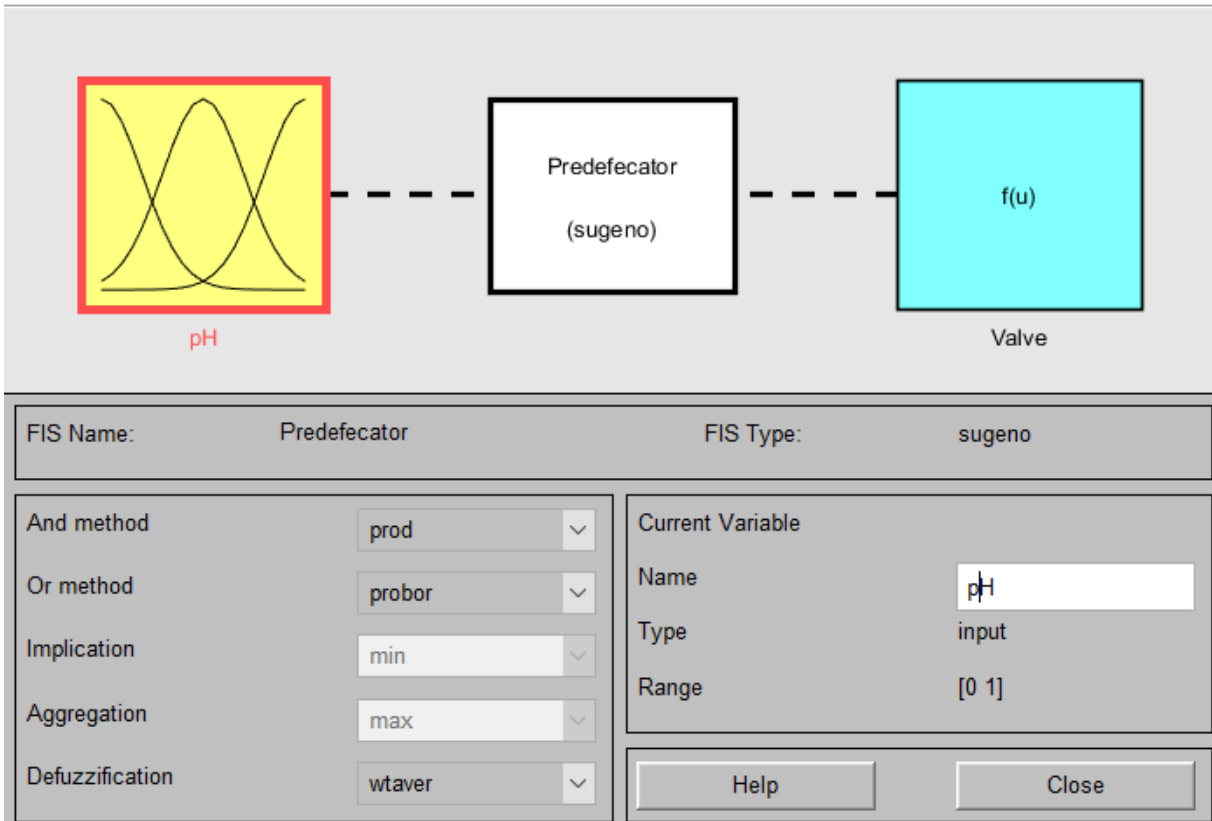


Рис. 4.41. Вікно редактора FIS-Editor

За вхід регулятора відповідає похибка, себто різниця заданого та дійсного значення рН соку в переддефекаторі, а за вихід – керуюча дія, себто ступінь відкриття чи закриття клапану, котрий подає вапняне молоко з мішалки.

Лінгвістична апроксимація похибки на вході регулятора характеризується узагальненими трапецієподібними функціями належності.

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

$$f(x; a, b, c, d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right)$$

Параметри функції приналежності, trapmf , задані як вектор $[a \ b \ c \ d]$.

Тут:

- Параметри b і c визначають плечі функції належності, а a і d визначають її ніжки.
- Форма функції належності залежить від відносних значень b і c .
- Коли c більше b , результуюча функція належності є трапецієподібною.
- Коли b дорівнює c , результуюча функція належності еквівалентна трикутній функції належності з параметрами $[a \ b \ d]$.
- Якщо c менше b , результуюча функція належності є трикутною з максимальним значенням, меншим за 1.

Назви змінних та параметри функцій належності для мого завдання:

Назва	Параметри функції належності
Лінгвістична апроксимація похибки на вхід регулятора	
Low (низький рН)	10.2
Okay (норма рН)	11
High (високий рН)	11.7
Лінгвістична апроксимація для керуючої дії на виході регулятора	
close fast	1
no change	50
open fast	100

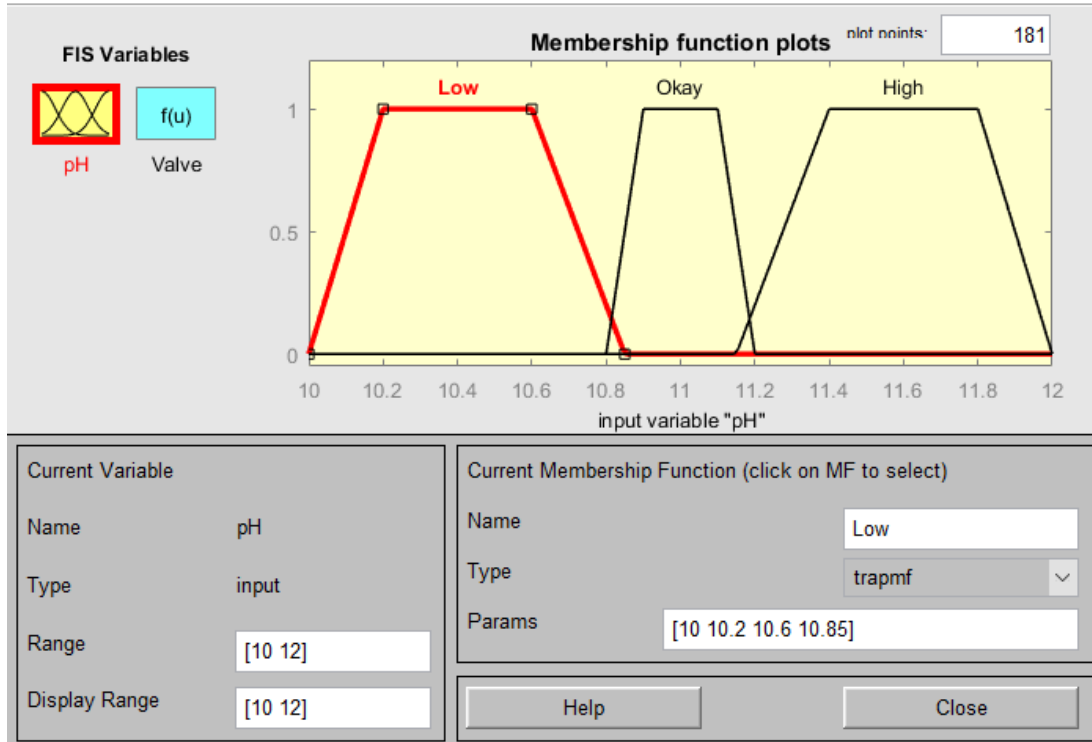


Рис. 4.42. Функція належності «Low»

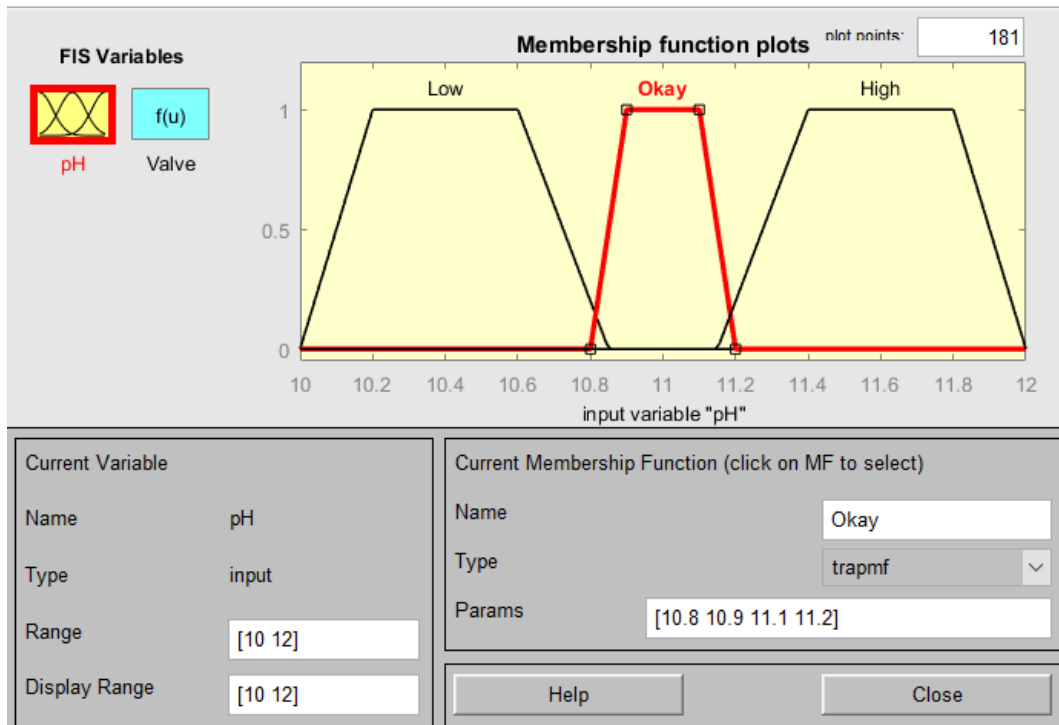


Рис. 4.43. Функція належності «Окау»

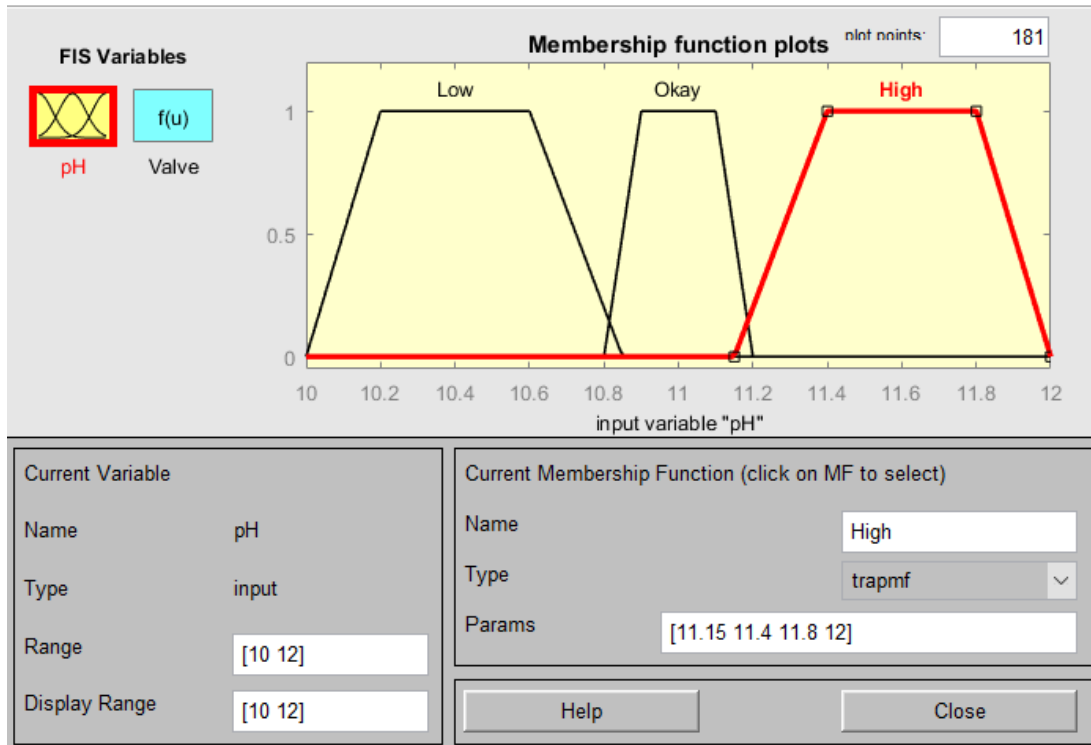


Рис. 4.44. Функція належності «High»

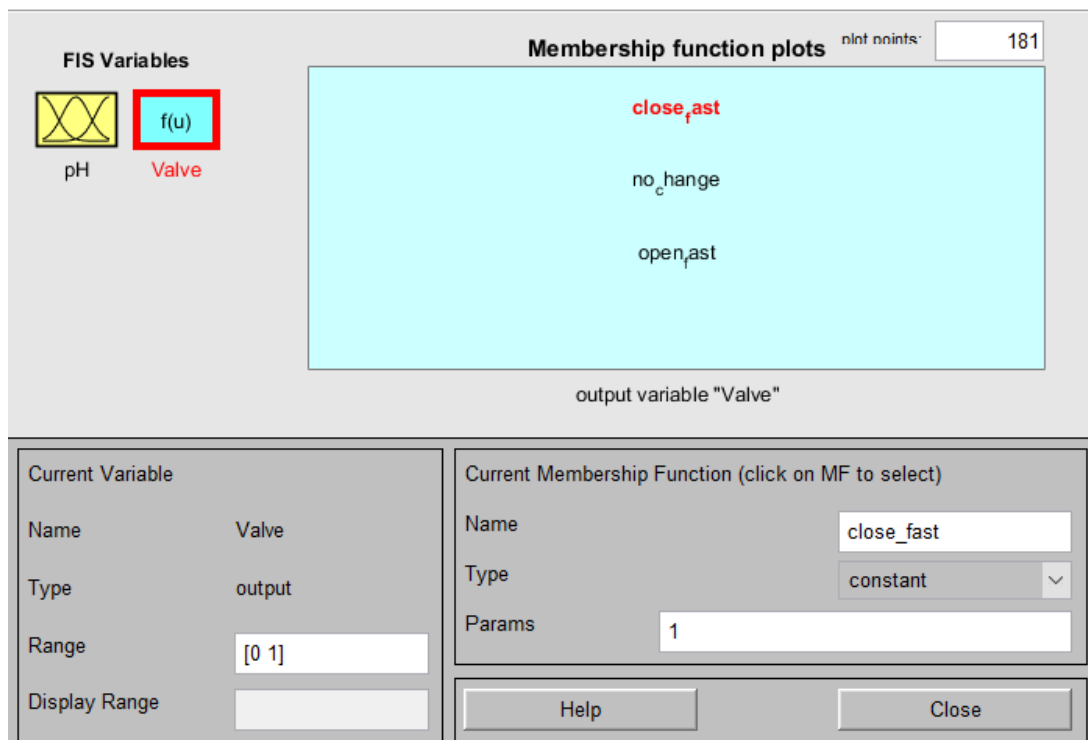


Рис. 4.45. Функція належності «close fast»

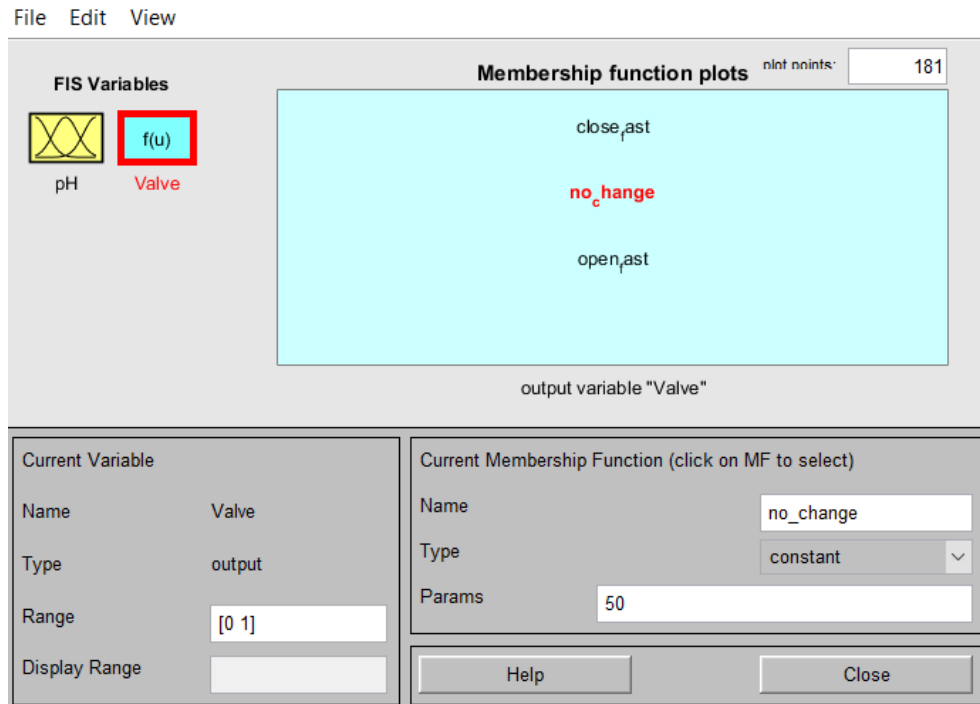


Рис. 4.46. Функція належності «no change»

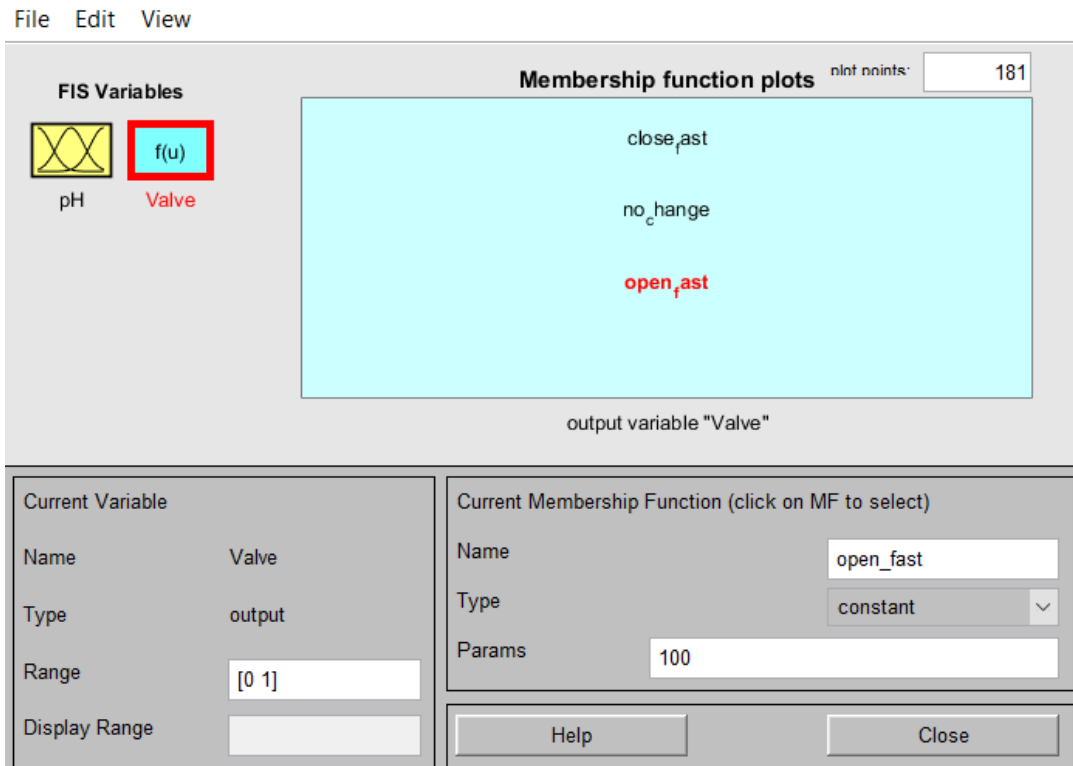


Рис. 4.47. Функція належності «open fast»

Нечіткий регулятор спирається на правилами, за допомогою яких і виконується дія. Такі правила зазначені нижче.

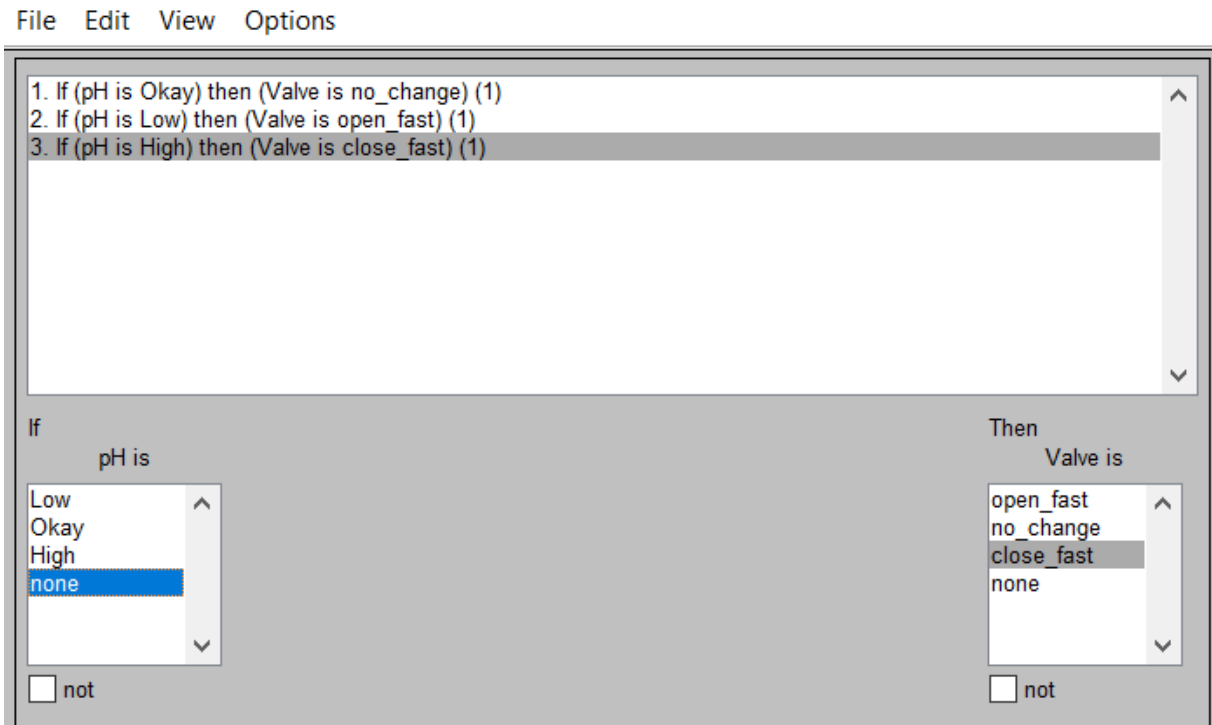


Рис. 4.48. База правил для нечіткого регулятора

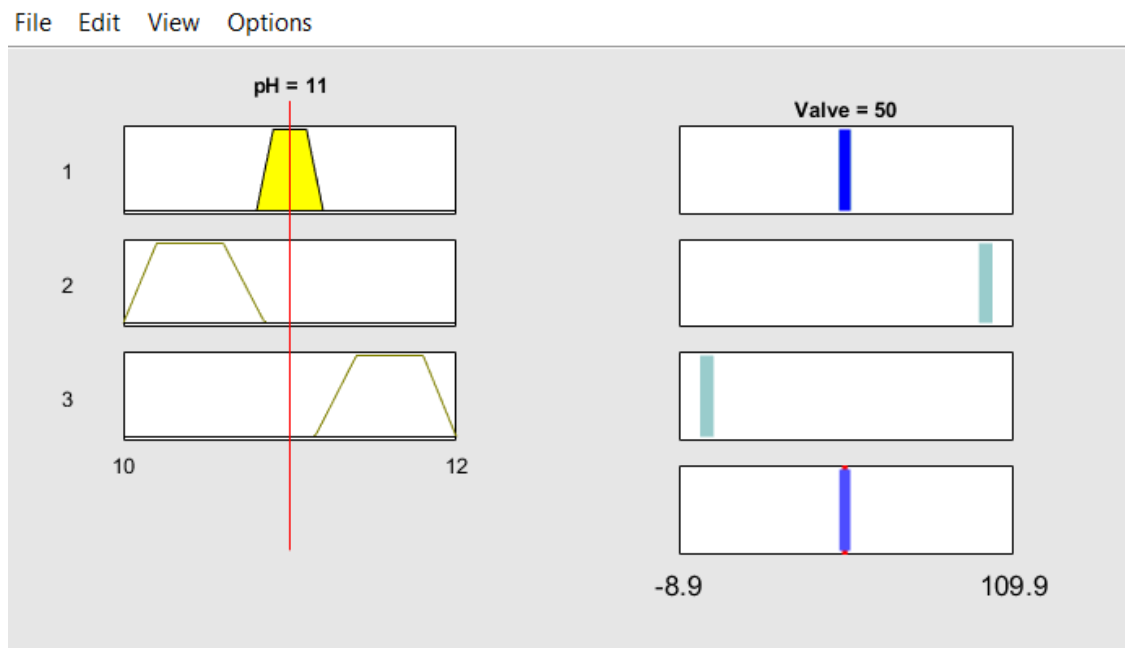


Рис. 4.49. Графічного відображення роботи алгоритму нечіткого висновку

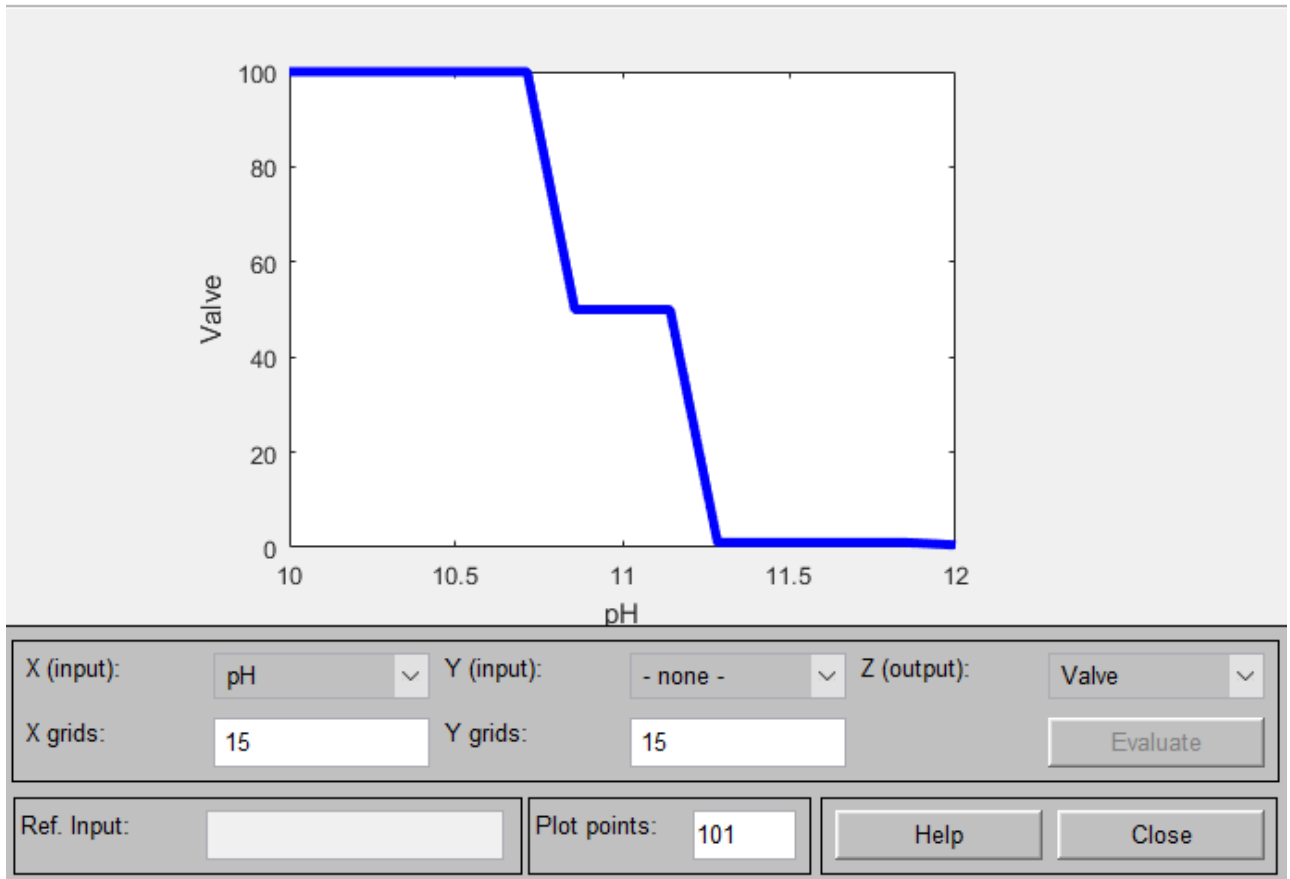


Рис. 4.50. Поверхні відгуку залежності зміни рН соку та клапана

Структурну схему математичної моделі переддефектора з застосуванням нечіткого регулятора побудовано таким же чином як і в попередньому випадку.

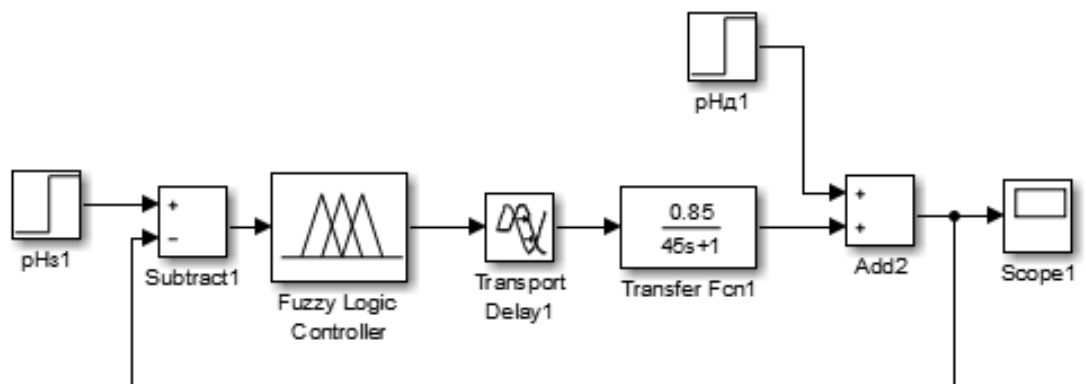


Рис. 4.51. Модель переддефектора з нечітким регулятором

Перехідний процес регулювання рН соку в переддефекторі з використанням нечіткого регулятора зображено на рисунку нижче.



Рис. 4.52. Перехідний процес регулювання рН соку в переддефекторі з нечітким регулятором

Для наглядного порівняння роботи ПІ-регулятора з нечітким регулятором модифікуємо структурну схему таким чином, як показано на рисунку нижче.

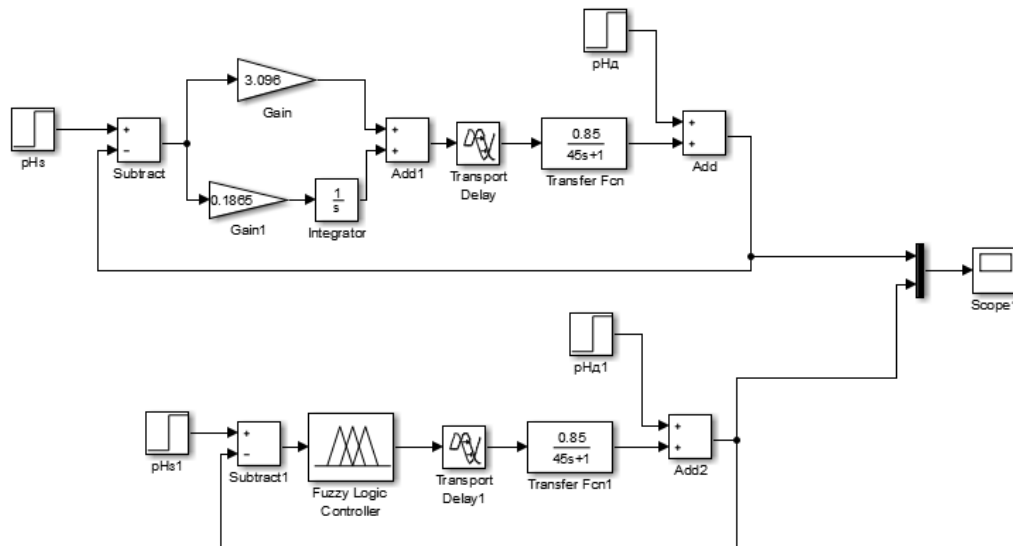


Рис. 4.53. Порівняльна структурна схема САР

На рисунку 4.54 зображено порівняння перехідних процесів регулювання тиску в I колоні випарної станції при застосуванні ПД- та нечіткого регуляторів.



Рис. 4.54. Перехідні процеси регулювання ПД- та нечіткого регуляторів

По отриманим результатам порівняння перехідних процесів регулювання рН соку в переддефекаторі можливо зробити наступні висновки:

- 1) Динамічна похибка з використанням нечіткого регулятора відсутня.
- 2) Статична похибка в обох перехідних процесах дорівнює нулю.
- 3) Час регулювання у випадку з використанням ПД-регулятора складає 135 с., а з використанням нечіткого – 83 с.
- 4) Перерегулювання та ступінь затухання відсутні у двох випадках.

Висновок

У кваліфікаційній роботі мною було розроблено автоматизовану систему управління технологічним комплексом цукрового заводу з підсистемою очистки дифузійного соку.

При запровадженні розробленої АСУ ТП на цукровому заводі можна досягти підвищення ефективності очищення соку; зниження втрат цукру на ділянці очищення та наступних ділянках виробництва; скорочення витрати вапняного молока та сатураційного газу; стабілізацію сокових потоків та синхронізації продуктивності ділянки очищення соку з продуктивністю ділянки дифузії.

Автоматизація процесу очистки дифузійного соку дає можливість контролювати всі технологічні процеси на виробництві без втручання людини; за допомогою сучасних систем автоматизації збільшується безпека та зменшується небезпека на виробництві; вдосконалення технологічної дисципліни за рахунок постійного контролю за дотриманням норм технологічного режиму та можливості аналізу історії параметрів за будь-який період часу; полегшення роботи працюючого персоналу.

Цей проект вирішує проблему розробки робочої документації для автоматичного регулювання технологічного процесу, виявлення та здійснення контролю та регулювання основних параметрів, підтримання їх на заданому рівні, забезпечення безперебійної роботи, очікування та швидкого реагування на надзвичайні ситуації, покращуючи економічний ефект та зменшуючи потребу втручання людини у виробничий процес.

Розроблений технологічний алгоритм автоматичного контролю і регулювання процесу очистки дифузійного соку, котрий реалізований на базі використання програмованого логічного контролера Modicon M340 в програмному забезпеченні EcoStruxure Control Expert.

Система управління відділенням очистки дифузійного соку передбачена людино-машинним інтерфейсом, котрий надає оператору докладну інформацію про перебіг технологічного процесу, здійснення архівування основних технологічних параметрів, ведення протокол подій, дозволяє формуванню звітів в табличній та графічній формі та має можливість самодіагностики.

Крім того, розвиток мікропроцесорної техніки і використання теорії управління в автоматизованих системах дозволяють створити регулятори різної складності і з заздалегідь заданими властивостями. Таким чином в роботі було проведено аналіз властивостей об'єкта та синтез АСР із застосуванням лінійних регуляторів, а саме П, ІІ- та нечіткого регуляторів.

Список використаної літератури

1. Технологія цукру: підручник : в 3 т. Т. 2 : Очищення дифузійного соку / А. А. Ліпец, В. М. Логвін, К. Д. Скорик та ін. ; за ред. В. М. Логвіна, А. І. Українця ; Національний університет харчових технологій. – Київ : Експрес-об'ява, 2015. – 272 с
2. Дітковський І. П., Козаневич З. Я. Процес попереднього очищення дифузійного соку у виробництві цукру як технологічний об'єкт керування [Текст] / І.П.Дітковський, З. Я. Козаневич // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології: Тези доповідей Десятої науково-практичної конференції студентів; Київ, «КПІ ім.І.Сікорського», 8-9 грудня 2016 р. – К.: КПІ ім. І. Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2016. – 92 с.: іл. – Бібліогр.: в кінці тез, с. 28 – 29.
3. Т.2: Очищення дифузійного соку / А.А. Ліпец. В.М. Логвін, К.Д. Скорик. А.І. Українець, М.П. Купчик . – ДП «Експрес-об'ява». 2015. – 272 с.
4. Наталич О.М. Дослідження динаміки дефекосатурації в цукровому виробництві. // Збірник наук. праць „Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах”. – Хмельницький, 2003. – №2.- с.207-210.
5. Ляшенко С. О., Фесенко А. М., Ляшенко О. С., Юрченко В. В. Впровадження АСУТП цукрового виробництва в Україні: екологічні аспекти. Інженерія природокористування. 2018. № 2(10). С. 49-58.
6. Високоєфективна технологія виробництва цукрових буряків. – К. : Інститут цукрових буряків НААН України, Глобус Прес, 2010. – 166 с
7. Заїка В. І. Керування складним технологічним комплексом сокоочистки цукрового заводу на основі відновлення атрактора [Текст] / В.І. Заїка, В.Д. Кишенько. - XI міжнародна конференція «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2012)». 9-11 жовтня 2012 р.: тези доп. 2012.-С.124-125.
8. Ярчук М.М., Борисюк П.Г. Ситуація в бурякоцукровій галузі й на ринку цукру: сезон цукроваріння-2009 // Цукрові буряки. - 2010. - №2(74).

9. Вирощування цукрових буряків та їх насіння розсадним способом / М. В. Роїк, Н. Г. Гізбуллін, В. В. Захарова, О. Г. Герасименко // Вісн. аграр. М. В. Роїк, Н. Г. Гізбуллін, В. В. Захарова, О. Г. Герасименко // Вісн. аграр. науки. – 2009. – С. 19–22.
10. А.О. Бобух. Автоматизовані системи керування технологічними процесами: Навч. посібник. – Харків: ХНАМГ, 2006. – 185 с.
11. Калетнік Г.М. Перспективи економічного зростання вітчизняного бурякоцукрового виробництва / Г.М. Калетнік, М.В. Роїк, В.С. Бондар // Вісн. аграр. науки. – 2009. – №11. – С. 68.
12. Сидлецкий В. М., АСУ станціями сокодобывания и сокоочистки / В.М. Сидлецкий, В.М. Кушков, С.М. Швед. // Автоматизация в промышленности - 2008. - №2. - С. 26-29.
13. 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'ютер.-інтегр. технології» / М. В. Лукінюк. - К.: НТУУ «КПІ», 2008. - 236 с.
14. Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування. – Київ.: Навчальний посібник, Аграрна освіта, 2010 – 245 с
15. Меньков А.В. Теоретические основы автоматизированного управления/ А.В. Меньков, В.А. Острейковский. – Учебник для вузов. – М.: Издательство Оникс, 2005. – 640 с.
16. Посібник з лекцій з дисципліни «Автоматизовані системи керування технологічними процесами» / Укладач : Карташов В.В. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017 – 149 с.
17. <https://economics.net.ua/files/archive/2012/No3-4/33-40.pdf>
18. Пупена О. М. Інтеграція систем управління / О. М. Пупена, І. В. Ельперін. // Харчова і переробна промисловість. – 2005. – №1. – С. 9–11.

19. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих сис- темах: Навчальний посібник.- К.: Вид-во «Ліра-К», 2011. — 552 с.
20. ISA-88/95/106 в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sites.google.com/site/isa88inua/home>.
21. Ладанюк А.П. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості [Текст] / А.П. Ладанюк, В.Г. Трегуб, І.В. Ельперін, В.Д. Цюцюра- К.: Аграрнаосвіта,2001.- 224с.
22. Емерсон Д. ISA-106 і важливість автоматизації ручних процедур [Електронний ресурс] / Дейв Емерсон – Режим доступу до ресурсу: <https://sites.google.com/site/isa88inua/isa-106/isa-106-i-vazlivist-avtomatizacii-e-rucnih-procedur>.
23. Діордієв В.Т. Автоматизація процесів виробництва комбікормів в умовах реформованих господарств АПК. – Сімферополь.: Доля, 2004. – 138 с.
24. Рева Л.П. Фізико-хімічні основи технологічних процесів очищення дифузійного соку у виробництві цукру: монографія / Л. П. Рева. – Київ : НУХТ, 2012. – 371 с.
25. <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/6192/1/2007.pdf>
26. С.А. Ляшенко, А.С. Ляшенко, И.С. Беляева Построение линеаризированных математических моделей сокоочистительного оборудования сахарного производства[Текст] // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики: Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник –Харьков, 2019. – 104 с. Бібліогр. – 94–101 с. – ISSN 0135-1710
27. Ванін В. В. Оформлення конструкторської документації : навч. посіб./В. В. Ванін, А. В. Блюк, Г. О. Гнітецька. – К. : Каравела, 2016. – 200 с.
28. Маслак О.І. Чинники диверсифікацій інноваційних процесів у розвитку цукробурякового комплексу в Україні // Економіка АПК. – 2007. – № 10. – С. 11–16.
29. 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.

30. Ладанюк А.П., Заєць Н.А., Власенко Л.О. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування): монографія – К.: Видавництво Ліра-К, 2016. – 312 с.

31. Інформаційні технології управління організаційно-технологічними системами: монографія / Т. О. Прокопенко, А. П. Ладанюк. – Черкаси : Вертикаль, 2015. – 224 с.

32. Автоматизація виробничих процесів : підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — Вид. 2-ге виправлене — К.: Вид. Ліра-К, 2015. — 378 с.

33. 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.

34. 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)

35. Пупена О. М. Програмування промислових контролерів у середовищі UnityPro: навчальний посібник / О. М. Пупена, І. В. Ельперін. — Київ : Ліра К, 2015. — 376 с.

36. 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