

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

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

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

«__» _____ 20__ р.

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

«__» _____ 20__ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

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

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

на тему: Автоматизована система управління технологічним комплексом
цукрового заводу з підсистемою очистки дифузійного соку

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

Терещенко Павло Ігорович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) _____ (підпис)
Керівник Кишенько Василь Дмитрович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) _____ (підпис)

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

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

Здобувач _____
(підпис)

Київ - 2024р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет Автоматизації і комп'ютерних систем

Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(код і назва)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри _____

“ ____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Терещенко Павла Ігоровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

керівник роботи к.т.н. Кишенько Василь Дмитрович

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “16” листопада 2023 року № 820-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 1 лютого 2024 року

3. Вихідні дані до роботи Проблематика цукрового виробництва, короткі відомості про умови експлуатації об'єкта автоматизації та вимоги до системи автоматизації. Матеріали переддипломної практики.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Розділ 1. Аналітичний огляд літератури та використовувані методи при побудові систем управління. 1.1. Аналіз проблем та перспектив розвитку цукрової галузі в Україні. 1.2. Аналіз загальної характеристика інтегрованої автоматизованої систем управління та її частин. 1.3. 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. Обґрунтування вибору технічних засобів для вимірювання, виконавчих механізмів (ВМ) та регулюючих органів (РО). 3.2. Схема автоматизації та специфікація засобів автоматизації польового рівня. 3.3. Схеми електричні принципи 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 2023 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)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Павло ТЕРЕЩЕНКО

_____ (прізвище та ініціали)

Василь КИШЕНЬКО

_____ (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 використовувані методи при побудові систем управління	10
1.1. Аналіз проблем та перспектив розвитку цукрової галузі в Україні	10
1.2. Аналіз загальної характеристики інтегрованої автоматизованої системи управління та її частин.....	13
1.3. Аналіз існуючих автоматизованих систем управління підсистемою очищення дифузійного соку на цукрових заводах України	21
Розділ 2. Загальносистемні рішення	28
2.1 Загальний опис об'єкту та системи	28
2.2. Розробка загальної ієрархічної моделі обладнання	38
2.3. Функціональна структура схема.....	41
2.4. Опис функцій, що автоматизуються	43
2.5. Структурна схема комплексу технічних засобів	45
2.6. Опис інформаційного забезпечення АСУ ТП виробництва та основного відділення	48
Розділ 3. Розробка підсистеми управління технологічним процесом (обладнанням)	50
3.1. Обґрунтування вибору технічних засобів для вимірювання, виконавчих механізмів та регулюючих органів.....	50
3.2. Схема автоматизації та специфікація засобів автоматизації польового рівня	84
3.3. Схеми електричні принципові контурів вимірювання, управління та сигналізації.....	88
3.4. Розширені схеми підключення для окремого контуру.....	89
3.5. Схема з'єднання та підключення проводок промислових мереж	92
3.6. Схема компонування та специфікація модулів ПЛК.....	94
Розділ 4. Спеціальне завдання	103
4.1. Опис спеціального програмного забезпечення для мікропроцесорного контролера (алгоритм та програма для ПЛК)	103
4.2. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога	123

4.3. Комп'ютерне моделювання системи автоматичного регулювання.....	127
Висновок.....	140
Список використаної літератури	142

Вступ

За останніх кілька років українська цукрова промисловість переживає в складному часовому періоді. Серед найбільш актуальних проблем, що виступають в цій галузі - необхідність оптимізувати споживання енергії, зменшити матеріальні витрати та витрати на інвентаризацію, збільшити використання активів та пропускну спроможність. Це пов'язується з тим, що дана промисловість зіткнулася з труднощами через постійний фінансовий дефіцит для впровадження новітніх світових агротехнологій.

Перечислені проблеми можуть вирішуватись за допомогою обізнаності та бажанні оволодіти пізнаннями у «новому світі» - в програмі Industry 4.0 та застосуванні цифрових технологій.

Ефективність технологічних систем у процесі переробки цукрового буряку в цукор за рахунок автоматизації можлива лише в тому випадку, коли підхід цього буде комплексний. Тобто це буде стосуватися кожного етапу переробки. З цією метою важливо належним чином налаштувати технічне обладнання, використовувати відповідні новітні технології та вибрати потрібні для цього засоби автоматизації.

Автоматизація виробництва повинна спиратися на кращі практики, які описуються у ряді випадків у вигляді стандартів, що розробляються різними організаціями. Найбільш авторитетною та відомою є міжнародна асоціація автоматизації - ISA (International Society of Automation), котра спрямована та переймається проблемами автоматизації виробництва.

На сьогодні найбільш затребуваними є стандарти, котрі забезпечують можливість створення інтегрованої системи управління підприємством – стандарт розробки інтерфейсу між управляючими системами підприємства та виробництва – ISA-95 та стандарт керування рецептурним виробництвом ISA-88 Batch Control.

За оцінками фахівців впровадження даних стандартів у практику дозволяє отримати певний економічний ефект за рахунок розробки модульного технологічного обладнання, модулів багаторазового використання програмних засобів, спрощення спілкування зацікавлених осіб усіх ланок впровадження систем автоматизації.

Тому було пророблена робота відповідно до якої опрацьовано автоматизовану схему управління технологічним комплексом цукрового заводу, яка вміщує в себе основне відділення (підсистему) очистки дифузійного соку. Автоматизація відділення очистки дифузійного соку надає можливість здійснювати контроль над усіма виробничими і технологічними процесами без активного задіяння «людських рук». Використання передових та сучасних систем автоматизації сприяє зниженню рівня небезпеки на всьому виробництві. Модернізація та оновлення технологічних дисциплін забезпечує постійний контроль за виконанням технологічних стандартів та аналізує параметри в реальному часі, сприяючи поліпшенню управління.

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

1.1. Аналіз проблем та перспектив розвитку цукрової галузі в Україні

Цукрова галузь бере початок свого розвитку з двадцятих років XIX століття. З того часу цукрове виробництво набуло пріоритетного значення серед харчових галузей країни.

Цукровий ринок є найбільш нестійким серед усіх продуктових ринків. Цукрове виробництво належить до стратегічних галузей в аграрному комплексі нашої держав, і його успішний розвиток може істотно вплинути на подолання негативних результатів економічної кризи, яка охопила сучасну українську економіку.

Сьогодні в Україні головне джерело цукру це буряки. Буряк дозволив не лише поповнити виробництво цукру, але й почав складати конкуренцію цукровій тростині. Важливо враховувати, що така культура як цукровий буряки завжди були й не залишають свого місця в значущості і вигідності порівняно з іншими технічними культурами. [12] Проте впливають питання стосовно виробництва цукру та реалізації якісної готової продукції. Відтак, учасники цієї галузі розглядають можливості для поліпшення, урегулювання та фіксування оптимального процесу виробництва цукру.

Головною причиною депресивного стану цукрової галузі, на мою думку, – це відсутність ефективної програми з регулювання цукрової промисловості та прийнятна протекціоністської політики держави, котра б могла забезпечити безпеку внутрішньому виробнику від міжнародних конкурентів. [2]

Також можна навести ряд об'єктивних та суб'єктивних причин, які також спричиняють кризовий стан розвитку цукрової галузі. До них відноситься:

- послаблення ролі держави у розвитку цукробурякового виробництва;
- втрата економічної зацікавленості виробників у вирощуванні цукросировини;
- недосконалість механізмів економічного регулювання виробництва;

- незавершеність і недосконалість приватизаційних процесів у цукровій галузі;
- порушення цінового паритету;
- нерозвиненість ринкових відносин у сфері виробництва, переробки і реалізації цукру;
- інтервенція на український ринок цукру з тростини та цукровмісних продуктів;
- повна відсутність інвестицій у галузь, її непривабливість для вітчизняних і зарубіжних стратегій цих інвесторів;
- відсутність чіткого законодавства та правових основ організації виробництва та регулювання ринку цукру;
- різке скорочення матеріально-технічного забезпечення бурякосіючих господарств цукрових заводів [3].

В державі відбулося розбалансування бурякоцукрового виробництва через відсутність достатньої кількості обігових коштів, відповідної матеріально-технічної бази бурякосійні підприємства належним чином не зацікавлені у вирощуванні коренеплодів цукрових буряків, а цукрові заводи не отримують необхідних обсягів цукросировини.

Таким чином для того щоб були розв'язані проблеми з розвитку цукрової галузі потрібно розпочинати в державі, яка б могла реалізувати комплекс відповідних заходів, котрі спричинили б стрімкий розвиток, котрий має стосуватися ось таких пунктів [8]:

- 1) підвищення рівня спеціалізації бурякосійних господарств;
- 2) оптимізація посівних площ під цукровий буряк;
- 3) удосконалення механізму пільгового кредитування аграрних підприємств.

На мою думку, підвищення економічної ефективності роботи цукрових заводів можливе за умов: раціонального використання виробничих ресурсів, удосконалення міжгалузевих зв'язків внутрішніх виробників, формування та реалізація інтегрованих виробничих ресурсів та міжнародних економічних відносин, створення та запровадження відповідної законодавчої бази.

Отже, для забезпечення динамічного розвитку бурякоцукрового виробництва, підвищення ефективності і конкурентоспроможності в Україні необхідно забезпечити:

- дотримання науково-обґрунтованих технологій виробництва;
- оптимальне використання виробничих ресурсів,
- зниження собівартості за рахунок покращення якості (цукристості) продукції,
- налагодження взаємної інформації, координації та узгодженості дій щодо розвитку торгових відносин і в перспективі.

1.2. Аналіз загальної характеристики інтегрованої автоматизованої системи управління та її частин

Сьогодні підприємства України працюють в умовах, які характеризуються зростанням конкуренції, збільшенням кількості партнерів на зовнішньому ринку, використанням нових технологій виробництва, швидкою зміною та нестабільністю зовнішнього середовища.

Особливістю управління підприємством у таких умовах є швидке реагування на дію зовнішніх факторів – прийняття своєчасних управлінських рішень, які спрямовані на підвищення ефективності роботи підприємства та якості продукції, яку випускає підприємство. Забезпечити таке управління можливо розробленням та використанням інтегрованих автоматизованих систем управління, які забезпечують управління як технологічними, так і організаційно-економічними процесами на підприємстві.

Сучасний етап розвитку інтегрованих автоматизованих систем управління орієнтований на широке використання Web-технологій, баз даних, СУБД, сховищ та просторів даних, систем SCADA та інтелектуальних компонентів для аналітичної обробки, з метою оцінювання стану підприємства, визначення потенційних загроз і перспективних можливостей та на їх основі прийняття ефективних управлінських рішень.

У сучасних інтегрованих автоматизованих систем управління прийняття ефективних управлінських рішень здійснюється на основі опрацювання даних, об'єднаних у єдиний інформаційний простір, у якому виникає проблема підтримки різних форматів даних, а також їх кодування. Ця проблема вирішується створенням на основі баз даних і СУБД інтегрованих предметно-орієнтованих сховищ даних.

В основу концепції сховищ даних покладено ідею поділу даних, які використовуються для оперативного аналізу та для вирішення завдань інтелектуального аналізу. Крім того, в сховище даних входить база знань, в якій

зберігається накопичений попередній досвід експлуатації інтегрованих автоматизованих систем управління.

Для інтеграції даних на рівні підприємств використовуються простори даних, управління якими здійснюється на базі платформи підтримки просторів даних DSSP (DataSpace Support Platforms). На основі Web-технологій розробляються засоби доступу до даних на всіх ієрархічних рівнях інтегрованих автоматизованих систем управління

Для управління складними технологічними процесами та розподіленими технічними системами в інтегрованих автоматизованих систем управління як інструментальні засоби проектування використовується система SCADA, яка забезпечує виконання таких функцій: збір поточної інформації про роботу устаткування з датчиків і контролерів; первинне перетворення зібраної інформації; збереження поточної інформації; використання поточної інформації для вирішення завдань управління виробництвом; організація зв'язку з пристроями, під'єднаними до інформаційної мережі; представлення поточної інформації у вигляді гістограм, таблиць, графіків; відображення стану приводів і технологічного устаткування.

Отже, розроблення ІАСУ для ефективного управління технологічними і організаційно-економічними процесами на підприємстві є актуальним завданням.

Основними завданнями сучасних інтегрованих автоматизованих систем управління підприємств є інтеграція функцій управління технологічними та організаційно-економічними процесами, створення єдиного інформаційного простору з достовірною, повною та оперативною інформацією.

Центральним поняттям в інтегрованих автоматизованих систем управління є поняття «інтеграція». Інтеграція визначається як спосіб організації окремих компонентів у одну систему, яка забезпечує узгоджену і цілеспрямовану їхню взаємодію, що зумовлює високу ефективність функціонування всієї системи.

Інтеграція здійснюється у таких напрямках: функціональному, організаційному, інформаційному, програмноалгоритмічному, технічному та економічному.

Функціональна інтеграція забезпечує єдність цілей та узгодженість критеріїв і процедур виконання виробничо-господарських і технологічних функцій, пов'язаних із досягненням поставлених цілей. Основою функціональної інтеграції є: оптимізація функціональної структури всієї системи, декомпозиція системи на локальні підсистеми, формалізований опис функцій кожної підсистеми і протоколів взаємодії підсистем.

Організаційна інтеграція передбачає формування узгоджених управлінських рішень шляхом раціональної взаємодії управлінського персоналу на різних рівнях ієрархії інтегрованих автоматизованих систем управління.

Інформаційна інтеграція полягає у комплексному підході до створення єдиного інформаційного поля на основі об'єднання технологічного процесу збору, зберігання, передавання та опрацювання даних. Інформаційне забезпечення містить такі компоненти: систему класифікації та кодування, систему документації та інформаційну базу інтегрованих автоматизованих систем управління, яка є розподіленою ієрархічною системою взаємопов'язаних інформаційних баз.

Програмно-алгоритмічна інтеграція передбачає наявність взаємопов'язаних комплексів моделей, алгоритмів, операційних систем, прикладних програм і їх спільне використання на всіх рівнях ієрархії.

Технічна інтеграція полягає у використанні єдиного комплексу спільних апаратних засобів для управління агрегатами, апаратами, установками та виконавчими механізмами шляхом збору та опрацювання даних на всіх рівнях ієрархії.

Економічна інтеграція полягає в досягненні найвищого економічного ефекту через цілеспрямоване та узгоджене функціонування всіх компонентів інтегрованих автоматизованих систем управління.

Інтеграція процесів на підприємстві усуває бар'єри між технологічними і управляючими рівнями та забезпечує підвищення ефективності виробництва.

Для управління підприємствами розроблена базова структура інтегрованої автоматизованої системи управління, яка наведена на рисунку 1..2.1, де ФГАД – фінансова, господарська та адміністративна діяльність.

Методологія послідовної декомпозиції, яка використовується для розроблення інтегрованих систем, відображає процес розроблення “зверху вниз”.

У результаті декомпозиції отримуємо багаторівневу ієрархічну структуру, в якій кожна задача верхнього рівня має пріоритет над задачами нижнього рівня. Використання принципів багаторівневої ієрархії забезпечує виділення таких функціональних рівнів управління:

- управління підприємством (фінансова, господарська та адміністративна діяльність);
- управління виробництвом (синхронізація, координація, аналіз та оптимізація випуску продукції);
- управління технологічними процесами, контроль і управління параметрами обладнання;
- управління агрегатами, апаратами, установками та виконавчими механізмами.

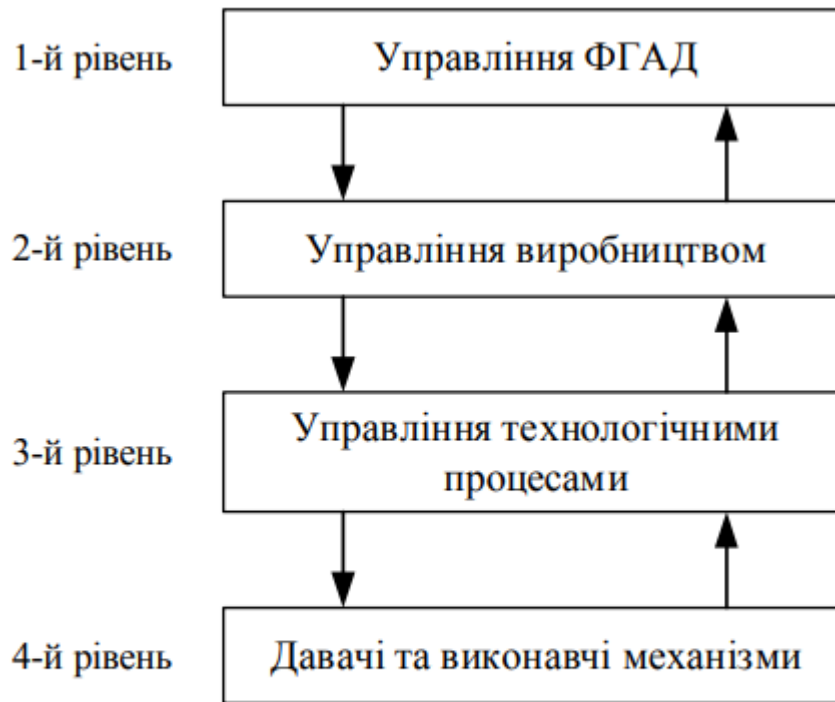


Рис. 1.2.1. Базова структура ІАСУ підприємства

Базова структура ІАСУ підприємства побудована у вигляді ієрархічної чотирирівневої структури, в якій першим рівнем є управління фінансовою, господарською та адміністративною діяльністю. На цьому рівні управління здійснюється планування та аналіз виробничої діяльності організації з використанням програмних засобів IRP – Intelligent Resource Planning (системи інтелектуального планування), ERP – Enterprise Resource Planning (планування ресурсів підприємства) і MRP – Material Requirements Planning (системи планування потреб у матеріалах).

Другий рівень управління забезпечує управління виробництвом, для чого використовуються програмні засоби MES – Manufacturing Execution Systems (системи управління виробничими процесами), які застосовуються для синхронізації, координації, аналізу та оптимізації випуску продукції.

Третій рівень управління пов'язаний з управлінням технологічними процесами та контролем і управлінням параметрами обладнання. Для розв'язання таких

задач використовують системи SCADA, основною функцією яких є створення інтерфейсу оператора та збір даних про виробничий процес. Для контролю та управління технологічним процесом використовується інструментальне забезпечення, яке є сукупністю пристроїв, каналів зв'язку та алгоритмічно-програмних засобів.

Четвертий рівень управління пов'язаний з безпосереднім управлінням агрегатами, апаратами, установками та виконавчими механізмами. Цей рівень управління характеризується використанням програмних засобів DCS – Distributed Control System (розподілена система керування) та PLC – Programmable Logic Controller (програмований логічний контролер). На цьому рівні управління широко використовується розподілена система введення/виведення та децентралізована обробка даних з використанням PLC.

В основу проектування сучасних інтегрованих автоматизованих систем управління покладена системна інтеграція, яка ґрунтується на системному підході, що охоплює всі рівні інтеграції процесів, об'єктів, суб'єктів та інфраструктури з урахуванням вимог конкретного застосування та ефективності їх застосування [6–9].

Під час проектування інтегрованих автоматизованих систем управління використовується як горизонтальна, так і вертикальна інтеграція автоматизованих систем та їхніх компонентів.

Горизонтальна інтеграція передбачає об'єднання автоматизованих систем на одному рівні ієрархії, а вертикальна – об'єднує засоби автоматизованих систем сусідніх рівнів ієрархії.

В інтегрованих автоматизованих систем управління використовуються такі види забезпечення: організаційне, інформаційне, математичне, програмне алгоритмічне та технічне.

Організаційна інтеграція – це раціональне об'єднання діяльності персоналу на всіх ієрархії системи з метою узгодження управлінських рішень.

Функціональна інтеграція полягає у розробленні загальної функціональної структури системи та її декомпозиції на функціональні підсистеми. При цьому необхідно забезпечити єдність локальних цілей функціонування, узгодженість функцій та критеріїв ефективності всіх компонентів. Під час реалізації функціональної інтеграції використовують методи декомпозиції та агрегування.

Інформаційна інтеграція передбачає створення умов доступу до всіх необхідних даних, узгодженості форматів даних, їх структурування, ідентифікації та уніфікації представлення.

Програмна інтеграція полягає у сумісному функціонуванні та взаємодії складових програмного забезпечення.

Технічна інтеграція – це раціональне об'єднання технічних засобів для забезпечення збору, передавання, збереження, опрацювання та циркуляції технологічної, економічної та командної інформації між компонентами системи.

Під час проектування інтегрованих автоматизованих систем управління на основі системної інтеграції використовують сім рівнів інтеграції.

Перший рівень – інтеграція підприємств і бізнес-процесів, яка зводиться до інтеграції замовлень, інформаційного забезпечення виробництва, тестування продукції та моніторингу бізнеспроцесів. Для реалізації цього рівня інтеграції використовуються WEB та комунікаційні технології.

Другий рівень – користувацький, який забезпечує інтеграцію засобів і способів для інтерактивної взаємодії користувачів з ресурсами системи. Для реалізації користувацького інтерфейсу використовують такі інструментарії: системи управління вікнами (WMS – Window Manager System); спеціалізовані системи; системи управління інтерфейсом користувача (UIMS – User Interface Management Systems).

Третій рівень – архітектурний, на якому визначається оптимальна архітектура системи за допомогою інтеграції інформаційних технологій, комп’ютерних, комунікаційних і алгоритмічних засобів. Для визначення оптимальної архітектури використовують моделювання та перспективні інформаційні технології.

Четвертий рівень – інтеграція даних і додатків, яка зводиться до побудови і застосування сховищ даних і віртуальних сховищ даних. Для реалізації цього рівня інтеграції використовується фільтрація, структурування та стандартизація даних, універсальна стратегія доступу до даних, WEB та інтелектуальні технології обробки даних.

П’ятий рівень – інтеграція апаратно-програмних платформ, яка зводиться до оптимального вибору стандартних платформ та організації їх взаємодії в складі системи.

Шостий рівень – інтеграція апаратно-програмних компонентів, які визначають характеристики комп’ютерних систем. Для реалізації цього рівня інтеграції використовуються базові архітектури, стандартизовані компоненти, інтерфейси та об’єктно-орієнтовані технології доступу до баз даних.

Сьомий рівень – конструктивно-технологічний, на якому з урахуванням стандартів технологічної та конструктивної сумісності здійснюється інтеграція конструктивних компонентів різних рівнів складності.

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

При початку виконання роботи потрібно було проаналізувати існуючі системи автоматизації на цукрових заводах, щоб мати повне розуміння при постанові завдання та його послідовного та детального розроблення.

За основу я вибрав український Гнідавський цукровий завод, який знаходиться у Луцьку Волинської області.

Компонування Гнідавського заводу має таку особливість, що очистка соку географічно розділена на 2 станції - дефекацію та сатурацію.

Для початку розглянемо відділення дефекації.

Обладнання, котре використовується в першій станції: попередній дефекатор, система регулювання вапнякового молока, холодний дефекатор із насосом та резервними затворами та преси глибокого віджиму.

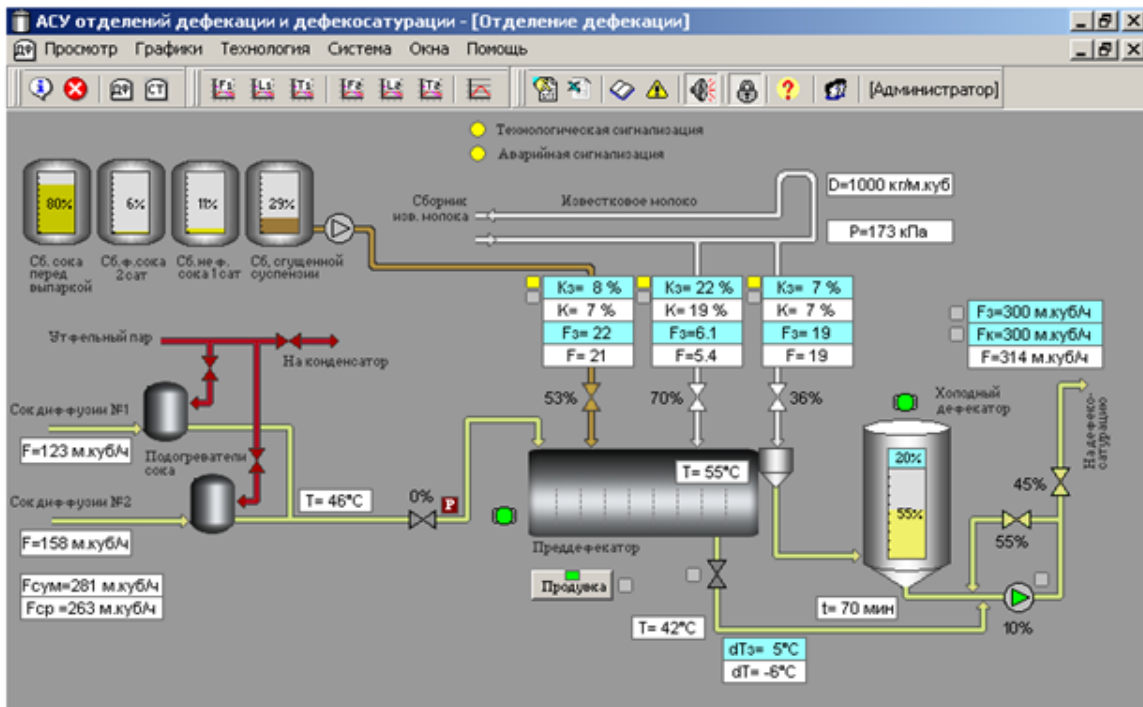


Рис.1.5.1 АСУ відділення попередньої дефекації

Таблиця 1.5.1 Основні складові та функції системи

Основні складові системи:	Основні функції системи:
<ul style="list-style-type: none"> робоче місце оператора з промисловим монітором Magelis щит управління "Дефекація" із станціями управління СУИМ 0/20-05 на кожному контурі аналогового регулювання щит перетворювачів ЕП датчики: тиску, рівня Aplisens, витратоміри ВЗЛЕТ и Siemens, термометри ТЕРА, виконавчі механізми: затвори ТУСО 	<ul style="list-style-type: none"> регулювання витрати вапнякового молока в попередній дефекатор і на основну дефекацію по співвідношенню до витрати дифузійного соку регулювання витрати суспензії соку І-ї сатурації в попередній дефекатор регулювання витрати дефекованого соку на І-у сатурацію контроль рівня в збірниках контроль стану електропривода попередній дефекатор , холодного дефекатора управління продувкою попереднього дефекатора

Особливості системи для оператора в щит управління "Дефекація" вмонтовано промисловий монітор Magelis із мнемосхемою, з якої оператор безпосередньо може контролювати і керувати технологічним процесом.

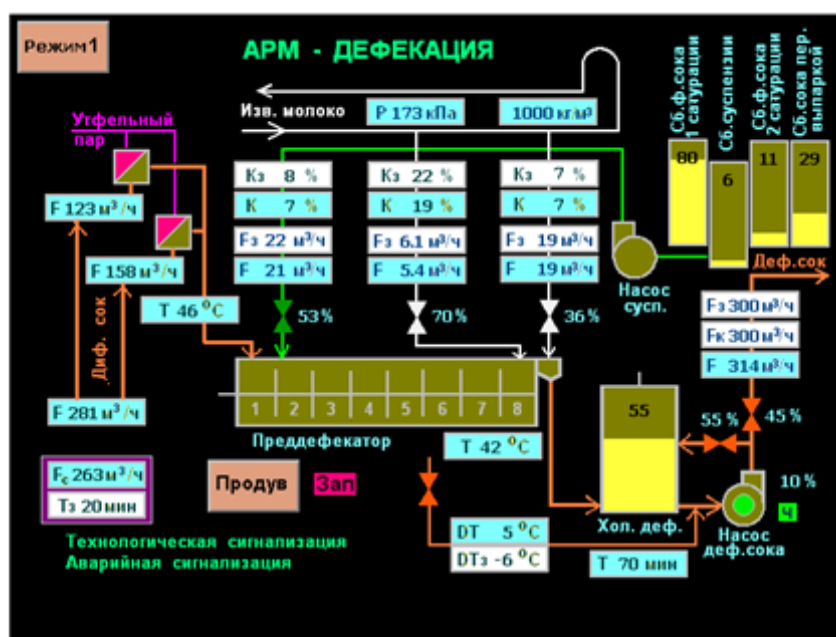


Рис. 1.5.2. Монітор Magelis із мнемосхемою

Далі станція сатурації, котра вміщує в себе гарячий дефекатор (2 котли), котел I сатурації із збірниками соку та насосами, котел II сатурації із збірниками соку та насосами.

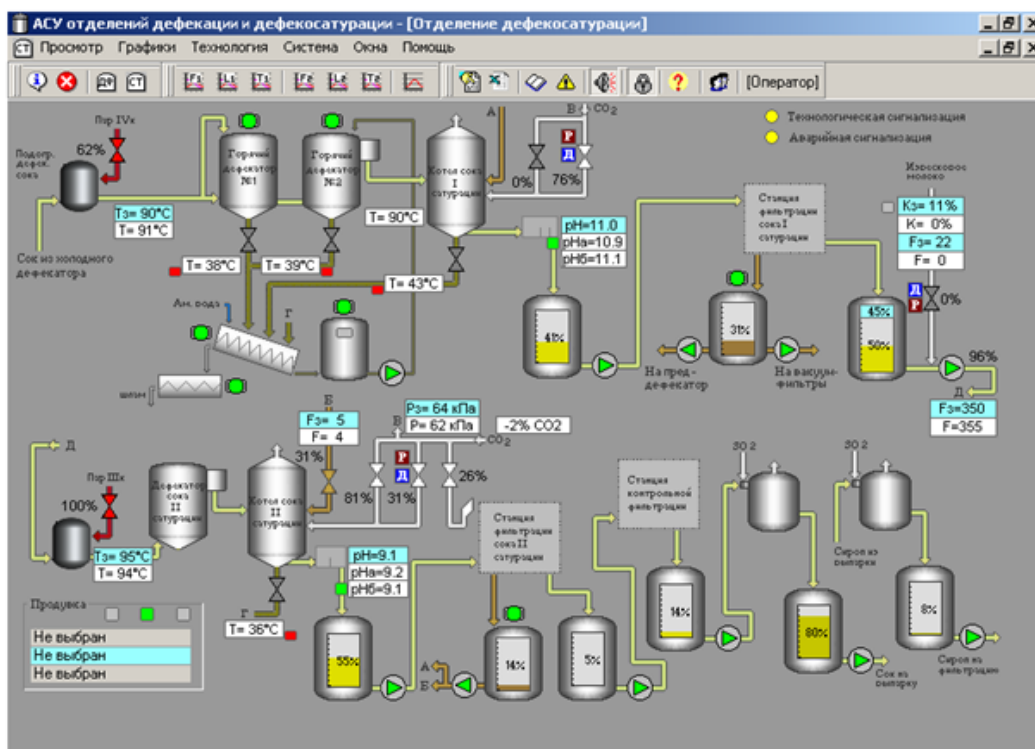


Рис. 1.5.3. АСУ відділення сатурації

Таблиця 1.5.2 Основні складові та функції системи

Основні складові системи:	Основні функції системи:
<ul style="list-style-type: none"> • робоче місце оператора із комп'ютером і мнемосхемою SCADA • щит управління "Дефекосатурація" із станціями управління СУИМ 0/20-05 на кожному контурі аналогового регулювання • щит перетворювачів ЕП • датчики: тиску, рівня Aplisens, витратоміри ВЗЛЕТ и Siemens, термометри ТЕРА, рН-метри Honeywell, • затвори ТУСО 	<ul style="list-style-type: none"> • регулювання витрати фільтрованого соку I сатурації на II сатурацію • регулювання рН соку I та II сатурації • регулювання тиску СО₂ в колекторі • контроль рівня в збірниках • управління продувкою сатураторів и гарячого дефекатора

Особливості системи: надійність та безперервність вимірювання і регулювання рН соків забезпечена встановленням двох датчиків рН. Покази датчиків безперервно порівнюються з метою виявлення відхилень. При відключенні датчика для обслуговування, регулювання переключасться на другий датчик.

Для покращення якості регулювання подачі сатураційного газу в сатуратори встановлено два затвори ("Великий" та "Малий"). Положення "Великого" затвору оператор дистанційно корегує так, щоб "Малий" затвор знаходився в діапазоні 30..40% відкриття.

Регулювання витрати фільтрованого соку I сатурації на II сатурацію виконано таким чином, щоб на ньому не проявлялись періодичні відключення з потоку кожного фільтра П9-УФЛ при регенерації.

Другий, котрий я розглянув для аналізу завод – це Гайсинський цукровий завод («ПК «Зоря Поділля»). Підприємство з переробки цукрових буряків та виробництва цукру у Вінницькій області. Входить до складу агрохолдингу «УКРПРОМІНВЕСТ-АГРО».

Тут головну увагу я приділив саме апаратам, котрі беруть участь в процесі очистки дифузійного соку.

Існуюча станція дефекосатурації, розрахована на продуктивність заводу 8000 тонн буряка/добу, була модернізована таким чином:

- 1) Встановлено новий прогресивний переддефекатор системи Брігель-Мюллера ТППД200.



Рис. 1.5.4. Переддефекатор Брігель-Мюллера

- 2) Апарат гарячої дефекації складається з 2-х ступенів: 1-й ступінь – прямоочний (колишня збірка нефільтрованого соку 1 сатурації) з можливістю відключення по потоку, 2-й ступінь – існуючий гарячий дефекатор.

- 3) Котел 1 сатурації змонтований з 2-х ступенів: 1-й ступінь - колишній котел 1-ої сатурації; 2-й ступінь – колишній котел 2-ої сатурації.

- 4) Збірник нефільтрованого соку змонтований на основі колишнього дозрівача соку 2-ої сатурації.

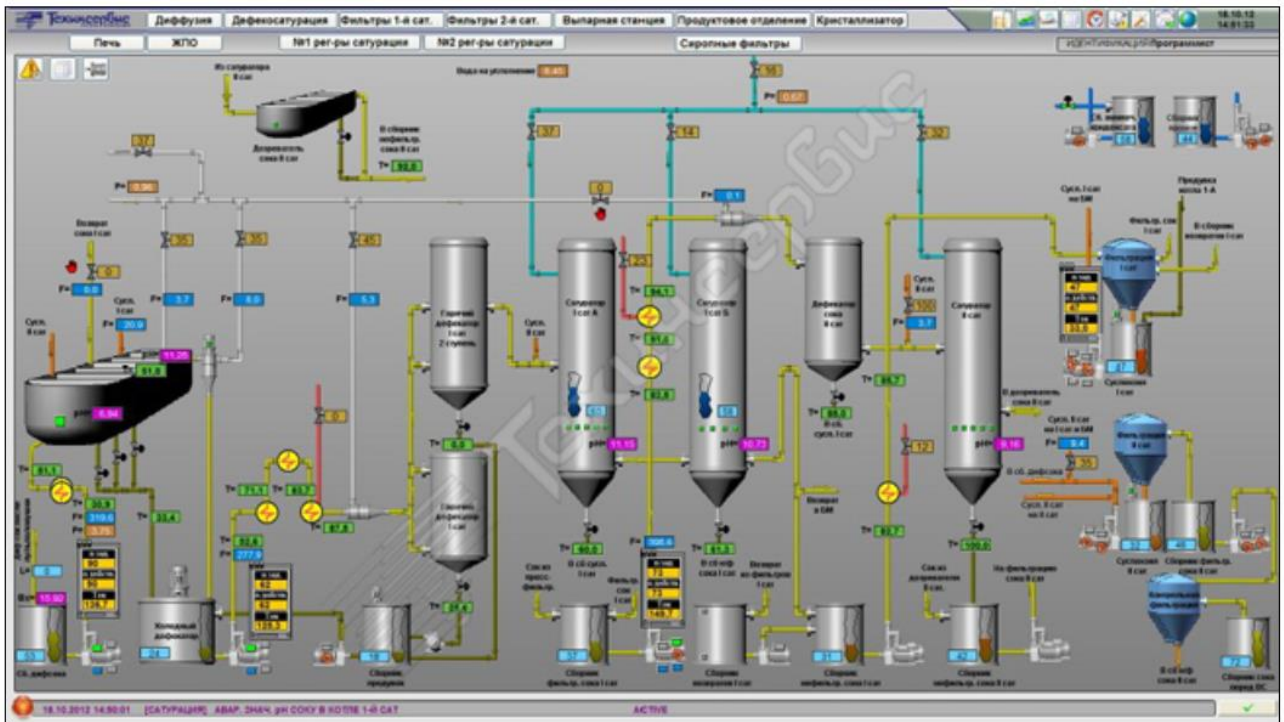


Рис.1.5.5. Мнемосхема відділення очистки дифузійного соку

- 5) Дефекатор перед другою сатурацією залишено без змін.
- 6) Котел 2-ої сатурації: змонтовано новий ТС2-4,2.



Рис.1.5.6. Відділення дефекосатурації

7) Дозрівач соку 2-ой сатурації був виготовлений зі старого преддефектора системи Бригель-Мюллера.

8) Для кращого перемішування вапняного молока із соком встановлені: динамічний змішувач перед холодним дефекатором; статичні змішувачі перед основною defeкацією та дефекатором перед 2 сатурації.



Рис.1.5.7. Динамічний змішувач

Отримавши висвітлені вище два приклади, тепер я маю повне уявлення про всю роботу та завдання, поставлені передо мною в рамках цього конкретного завдання. Також я маю чітке розуміння того, на що саме потрібно звернути увагу для автоматизації вибраного виробничого процесу, які саме параметри є ключовими, та як саме вони контролюються та регулюються.

Розділ 2. Загальносистемні рішення

2.1 Загальний опис об'єкту та системи

На сьогоднішній день, цукрова промисловість виокремлюється від інших тим, що вона займає значні об'ємні розміри та на якій використовуються передові промислові вітчизняні обладнання, котрі постійно вдосконалюються для досягнення кращих результатів у виробництві цукру з мінімальним впливом на якість сировини та екологічну стійкість виробництва.

На рисунку, котрий зображений нижче, наведені основні процеси, які використовуються при виготовленні цукру-пічку.

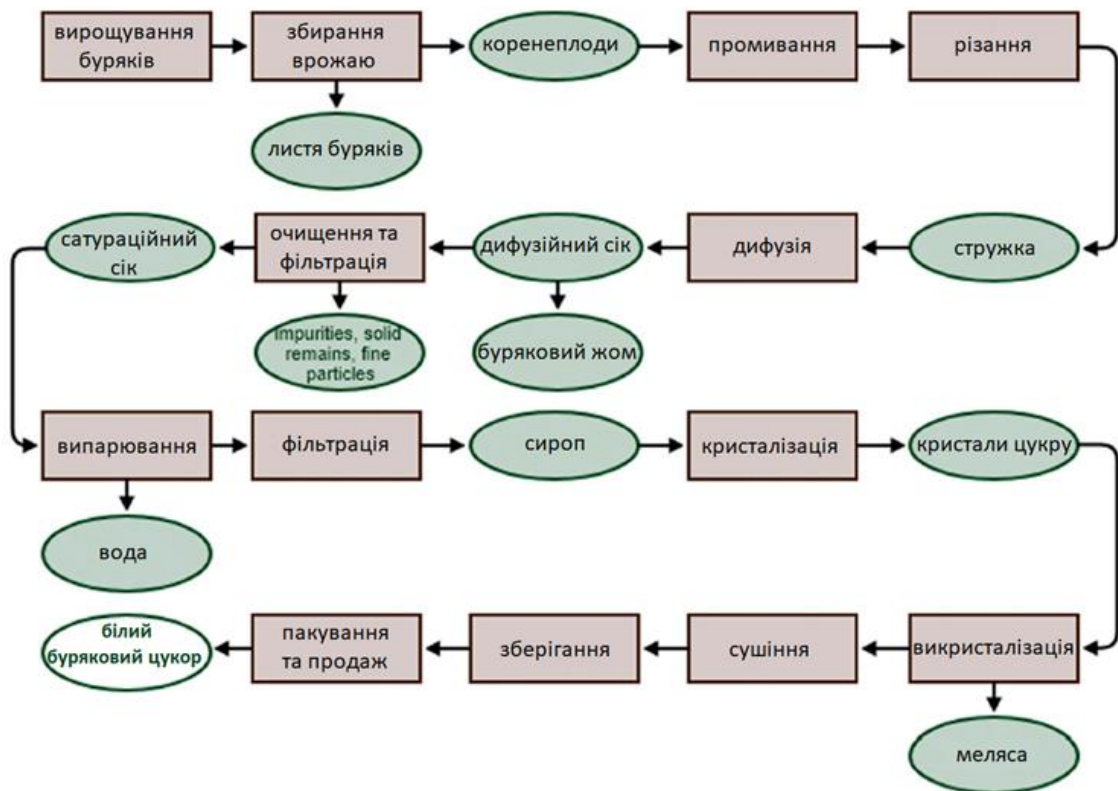


Рисунок 2.1 Спрощена схема виробництва цукру з цукрових буряків

Основну увагу я приділив окремій підсистемі на цукровому заводі, котра має, на мою думка, найбільший вплив на кінцеві показники якості готового продукту, це підсистема очистки дифузійного соку.

Очищення дифузійного соку є головним та водночас складним процесом, що включає в себе кілька етапів та технічних процедур. Одним із методів, які використовуються для цієї мети, є вапняно-вуглекислий метод очищення.

Вапняно-вуглекислий метод очищення дифузійного соку являється важливим та затратним по часу етапом у виробництві цукру. Це зумовлено тим, що на даному етапі відокремлюється багато зайвих домішок та небажаних речовин з цукрового соку, покращуючи якість та кількість кінцевого готового продукту. Цей метод включає в себе кілька ключових кроків, корті скеровані на очищення та підготовку соку для подальших стадій виробництва цукру.

Розглянемо 3 основні стадії, котрі є найголовнішими.

Таблиця 1.1. Стадії очищення дифузійного соку

I	Додавання вапнякового молока	Перший етап включає введення вапнякового молока у дифузійний сік. Вапнякове молоко містить вапняк у водному розчині, який реагує з різними нечистотами, такими як білки, фосфати та інші речовини, утворюючи осад. Цей осад або флокулується, або відстоюється, що дозволяє відокремити його від соку.
II	Насичення вуглекислим газом	Наступним кроком є насичення очищеного соку вуглекислим газом. Вуглекислий газ реагує з вапняком, утворюючи карбонат кальцію, що також видаляється у вигляді осаду. Цей осад утворюється через реакцію між вуглекислим газом та розчиненим вапняком, що в результаті утворює карбонат кальцію – білий осад, який можна відділити від очищеного соку.
III	Відокремлення осаду	Сформований осад відокремлюється від соку за допомогою фільтрації, осадження або інших методів, що дозволяють чистому соку перейти до наступних етапів обробки без забруднень.

Тепер ознайомеємось з обладнанням, котре бере участь в процесі очищення дифузійного соку в загальному вигляді.

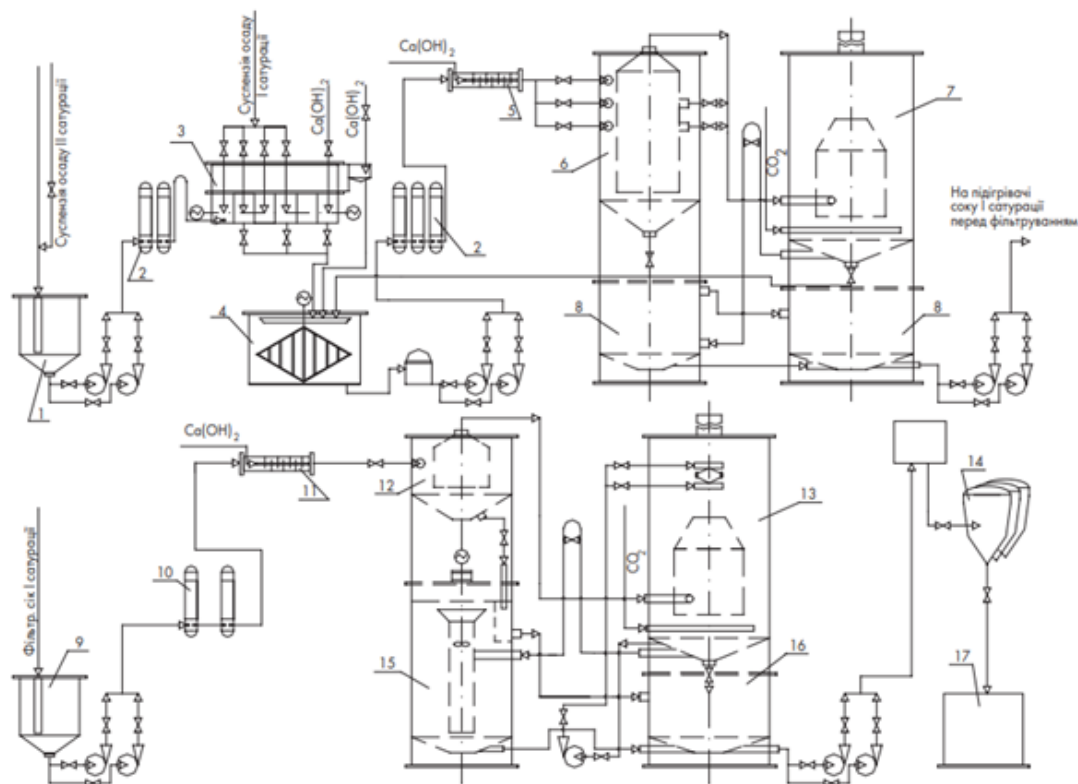


Рис. 2.2 Схема очищення дифузійного соку

1 – збірник дифузійного соку; 2 – підігрівачі; 3 – переддефекатор; 4 – апарат холодної (теплої) defeкації; 5 – статична мішалка; 6 – апарат гарячої defeкації; 7 – апарат I сатурації; 8 – збірник нефільтрованого соку I сатурації; 9 – збірник фільтрованого соку I сатурації; 10 – підігрівачі; 11 – мішалка; 12 – defeкатор перед II сатурацією; 13 – апарат II сатурації; 14 – фільтри ФіЛС-60; 15 – дозрівач соку II сатурації; 16 – збірник нефільтрованого соку II сатурації; 17 – збірник фільтрованого соку II сатурації

На сьогоднішній день є багато варіацій та способів очищення дифузійного соку. Але в даному проекті буде розглянуто найбільш ефективніші та менш затратні. В загальному для даного процесу в більшості цукрових заводах використовують спосіб додавання до соку вапняного молока з побальшим обробленням його сатураційним газом.

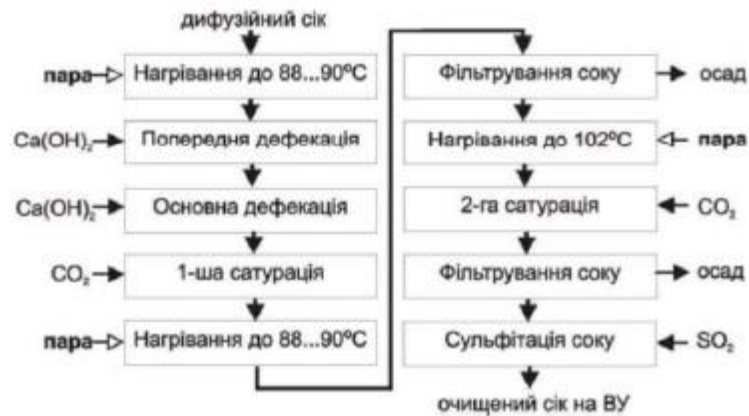


Рис. 2.3. Загальна схема очищення дифузійного соку

Розглянемо більш детально та рогрогнуто основну схему очищення дифузійного соку. Розпочнемо з *попередньої дефекації*.

Цей процес проводиться при температурі 88⁰ С, якщо необхідно, після підігріву дифузійного соку. Відповідно до теорії нижча температура була б краща з точки зору остаточної кольоровості очищених соків, але на практиці підвищена температура дозволяє запобігти ризику будь-якого інфікування, зокрема лейконостоками.

Під час попередньої дефекації дифузійний сік взаємодіє з невеликою кількістю вапна прогресивним способом. Така кількість вапна дозволяє коагулювати пектинові речовини на переддефекації без розриву дуже довгих кіл. При надмірній кількості вапна ці ланцюги можуть розірватися.

Двохвалентність іона кальцію створює зчеплення, які перешкоджають розриву пектинових ланцюгів. Фактично при попередній дефекації утворюється незворотний осад, стійкий та дуже щільний.

Крім вапняного молока саме на ступінь попередньої дефекації повертають осад першої сатурації, що дозволяє підтримувати високий вміст загального вапна (сильну концентрацію CaCO₃ в соках першої сатурації, незважаючи на низький

вміст вапна при основній дефекації), отримуючи таким чином низький коефіцієнт відфільтрованого соку, незважаючи на мале споживання вапна .

Тривалість попередньої дефекації триває від 12 до 30 хвилин залежно від температури дифузійного соку.

Основна дефекація проводиться за тієї ж температури, що й попередня, тобто при 88 °С. Щільність збільшується до значень СаО від 8 до 12 г/л в залежності від якості обробки буряків. При дефекації починаються такі процеси, як адсорбція і розкладання цукрів, що редукують.

Крім того, використовується бактерицидна дія високої лужності для повернення на рівень апарату дефекації всіх продуктів, які можуть бути забруднені:

- це незрілі соки у фільтрах видалення цукру;
- розпуск сміття;
- цукрозміщувальні води від вологих циклонів сушильних апаратів цукру.

Час перебування на дефекації має бути в діапазоні від 7 до 10 хвилин за максимально можливої розміреної циркуляції соку.

Після нагрівання соків дефекований сік надходить у *резервуар витримування*, який призначений для того, щоб забезпечити час перебування, достатній для розкладання всіх цукрів, що редукують, і завершення процесів адсорбції.

Циркуляція у ньому має відбуватися якомога більш розмірено протягом 12–15 хвилин.

При виході з резервуару витримування осад другої сатурації повертається цикл. Ці кристали практично чистого карбонату кальцію будуть служити затравним матеріалом для зростання кристалів карбонату кальцію при першій сатурації.

Перший ступінь сатурації повинен відповідати декільком вимогам:

– забезпечувати однорідну кристалізацію кристалів карбонатів кальцію, що досягається або внутрішньою рециркуляцією соків або зовнішньою рециркуляцією з використанням циркулятора;

– забезпечувати якомога більшу абсорбцію діоксиду вуглецю з мінімально можливою висотою барботування, щоб зменшити поглинається газовими насосами електричну потужність та забезпечити правильний баланс між потребою в вапні та потребою в діоксиді вуглецю.

Звідси важливість конструктивного вирішення розподілу газу та соків:

– працювати якомога стабільніше щодо змін вмісту CO_2 у газі та коливань тиску газу, тому дуже важливі регулювання та автоматизація контурів подачі газу та соку;

– дуже важливо знайти робочу точку (значення рН) першої сатурації, щоб забезпечити оптимум між якістю соку, який потрібно отримати, та його фільтруванням. Підбирають значення рН, яке відповідає мінімальній кольоровості соків фільтрованих першої сатурації за наявності прийнятних фільтраційних властивостей. Насправді цей оптимум посідає рН при $20\text{ }^\circ\text{C}$ від 11,2 до 11,3.

Він також відповідає мінімальній розчинності кремнезему для запобігання утворенню накипу при випаровуванні;

– час перебування на ступені сатурації повинен становити від 12 до 15 хв для досягнення достатнього розміру кристалів карбонату кальцію.

Резервуар для каламутного соку першої сатурації грає подвійну роль. Він має бути буфером між сатурацією і фільтрацією. З іншого боку, час перебування від 6 до 9 хвилин необхідний забезпечення хорошої досатурації соку перед фільтрацією. Без досатурації засмічення фільтрів відбувається швидше.

Перед фільтрацією не слід підігрівати сік, що пройшов сатурацію, з двох основних причин:

- підігрів каламутного соку викликає підвищення кольоровості очищеного соку;
– підігрів соків через завихрення у підігрівачах викликає руйнування пластівців і, отже, значне збільшення коефіцієнт фільтрації.

Фільтрація каламутного соку першої сатурації спрямована на отримання світлого соку шляхом утримання речовин, що у суспензії, домішок, осаджених чи коагульованих вапном – з одного боку, вуглекислим кальцієм – з іншого боку, у своїй останній становить найбільшу масову частку зважених речовин.

Для цього використовують різні типи фільтрів такі як: рамні або свічкові фільтри-згущувачі; фільтр-преси (витратне рішення) і фільтри Fils.

У будь-якому випадку ефективна робота фільтраційного цеху передбачає автоматичні фільтри та застосування, по можливості, тканини, що фільтрує, з поліпропілену або з Rilsan з однопітковим плетінням.

У світлому соку не повинно бути більше 10 ppm зважених частинок. Осад має бути максимально щільним з метою мінімізації об'ємів, що повертаються в апарат попередньої дефекації для тієї ж кількості рециркульованого карбонату.

Видалення цукру з фільтр-пресного осаду може здійснюватися на фільтрах двох типів таких як: вакуумних фільтрах, що обертаються, та фільтр-пресах.

Другі мають перевагу перед першими у тому, що у них утворюється 65–70 % осаду сухої речовини. Це дозволяє транспортувати їх на вантажівках безпосередньо до місця використання у сільському господарстві. Крім того, у них набагато менша витрата води для еквівалентного видалення цукру зі шламу. Промитий, отриманий шляхом висолоджування осаду, використовується в основному для приготування вапняного молока, що використовується в процесі. Залишок буде направлено до загального резервуару дефекації.

Резервуар для світлого соку, отриманого із соку першої сатурації зводиться до буфера між фільтрами та другою сатурацією. Час перебування у ньому

становитиме від 6 до 9 хвилин. Він оснащений механічним пристроєм, що переміщує, для можливості повернення, у разі необхідності, осаду другої сатурації.

Роль *другої сатурації* полягає у кристалізації (осадженні) якомога більшої кількості карбонату кальцію з метою зведення до мінімуму вмісту кальцієвих солей у соках. Цей оптимум, який лежить у діапазоні рН від 9,1 до 9,4 залежно від природи соку, може визначатися експериментально або на заводі або за допомогою стандартного очищення.

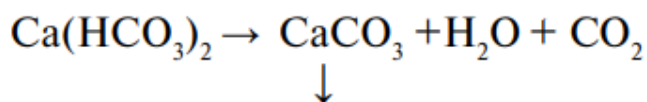
Як і для першої сатурації ефективність абсорбції діоксиду вуглецю має бути якомога вищою, звідси й важливість конструктивного вирішення розподілу газу та соку; кристали карбонату повинні бути якомога більшого розміру, звідси важливість внутрішньої рециркуляції в котлі; температура повинна бути якомога вищою, проте не більше 95 °C, щоб уникнути розкладання цукру.

На практиці робоча температура становить від 92 до 94⁰C та час витримки від 10 до 12 хвилин. При нижчих температурах виникає ризик утворення бікарбонатів, які, розкладаючись під час фільтрації, викликають утворення накипу на фільтрах другої сатурації і навіть викликають утворення накипу при випаровуванні, а також збільшення кількості нерозчинних речовин і каламутності в білий цукор.

Іноді застосовують дефекацію перед другою сатурацією, що дає перевагу в отриманні великих кристалів карбонатів, коли пристрій має конструктивні дефекти. В цьому випадку покращується якість фільтрованого соку другої сатурації. Але при цьому процесі існує небезпека розчинення кремнезему, якщо вапняковий камінь посередньої якості. Цей кремнезем буде потім осаджуватися на останніх етапах випарювання з усіма небажаними наслідками, пов'язаними з утворенням кремнистого накипу.

Дозрівач після другої сатурації відіграє ключову роль.

Насправді соки, що виходять після сатурації, можуть іноді містити бікарбонати кальцію, які потім розкладаються на карбонати, які осідають або в трубопроводах і насосах, або в гіршому випадку на тканинах фільтруючих. Дозрівач із перемішуванням та часом витримки 20 хвилин може вирішити цю проблему.



Іноді навіть є два резервуари, один із яких забезпечує час витримки, а інший служить буфером між сатурацією та фільтрами.

Фільтрування соків другої сатурації застосовується на свічкових фільтрах, в лотках без часткового продування, так як суспензія осаду дуже погано відстоюється і тому не може ущільнюватися, як осад першої сатурації. У фільтрованому соку не повинно бути більше 10-15 ppm зважених частинок. За дотримання цих умов немає необхідності передбачати фільтрацію після сульфитації, якщо остання застосовується для світлих соків другої сатурації. Осад другої сатурації повертають на вихід із резервуару витримки, а частина – у резервуар світлого соку першої сатурації.

У повсякденній практиці застосовують *сульфітацію* світлих соків другої сатурації. Перевагою її є знебарвлення і особливо обмеження повторного фарбування під час випарювання. Однак сульфитація світлих соків другої сатурації має недолік, що полягає в неможливості її проведення при занадто низькій натуральній лужності соків (посушливі роки, несвіжий буряк та ін.).

Сульфитація світлих соків першої сатурації має ті ж переваги, але при низькій натуральній лужності сульфитація можлива такою ж мірою. Компенсація провадиться на рівні другої сатурації.

Сік після очищення все ще містить від 20 до 150 мг кальцієвих солей на літр соку (іноді набагато більше).

Ці відкладення викликають відчутне зниження коефіцієнтів теплообміну при випаровуванні і, таким чином, зменшення вмісту сухих речовин сиропу, а отже, значне збільшення витрати пари на підприємстві.

Декальцинація є можливою відповіддю на цей небажаний наслідок.

Для декальцинації соків їх пропускають через катіонну смолу, заряджену іонами Na^+ . Іони Ca^{++} соку заміщують іони Na^+ смоли, які переходять у розчин і утворюють соку соку натрію. Вони набагато більш розчинні, ніж солі кальцію, і, отже, не осідатимуть при випаровуванні.

Смола після насичення має бути регенована. Це може бути реалізовано кількома способами таких, як: регенерація хлоридом натрію, яка історично є основним методом. Тим не менш, у нього є недолік утворення залишкових вод; регенерація за допомогою сиропу або першого набряку другого продукту (технологія Gryllus), яка має недолік відновлення кальцію на першій кристалізації з наявністю каламутності у білих цукрах; регенерація за допомогою меляси (модифікована технологія Gryllus) не має вищезгаданого недоліку, але при поганому контролі циклів існує ризик повернення меляси в сік; регенерація содою (технологія NRS) – остання технологія, яка має багато переваг, але при якій утворюється трохи більше меляси.

2.2. Розробка загальної ієрархічної моделі обладнання

В цьому підпункті розберемо фізичну модель, котра може вироблятися для охарактеризування фізичних активів цукрового виробництва у таких визначеннях: Enterprises, Sites, Areas, Process Cells, Units, Equipment Modules та Control Modules.

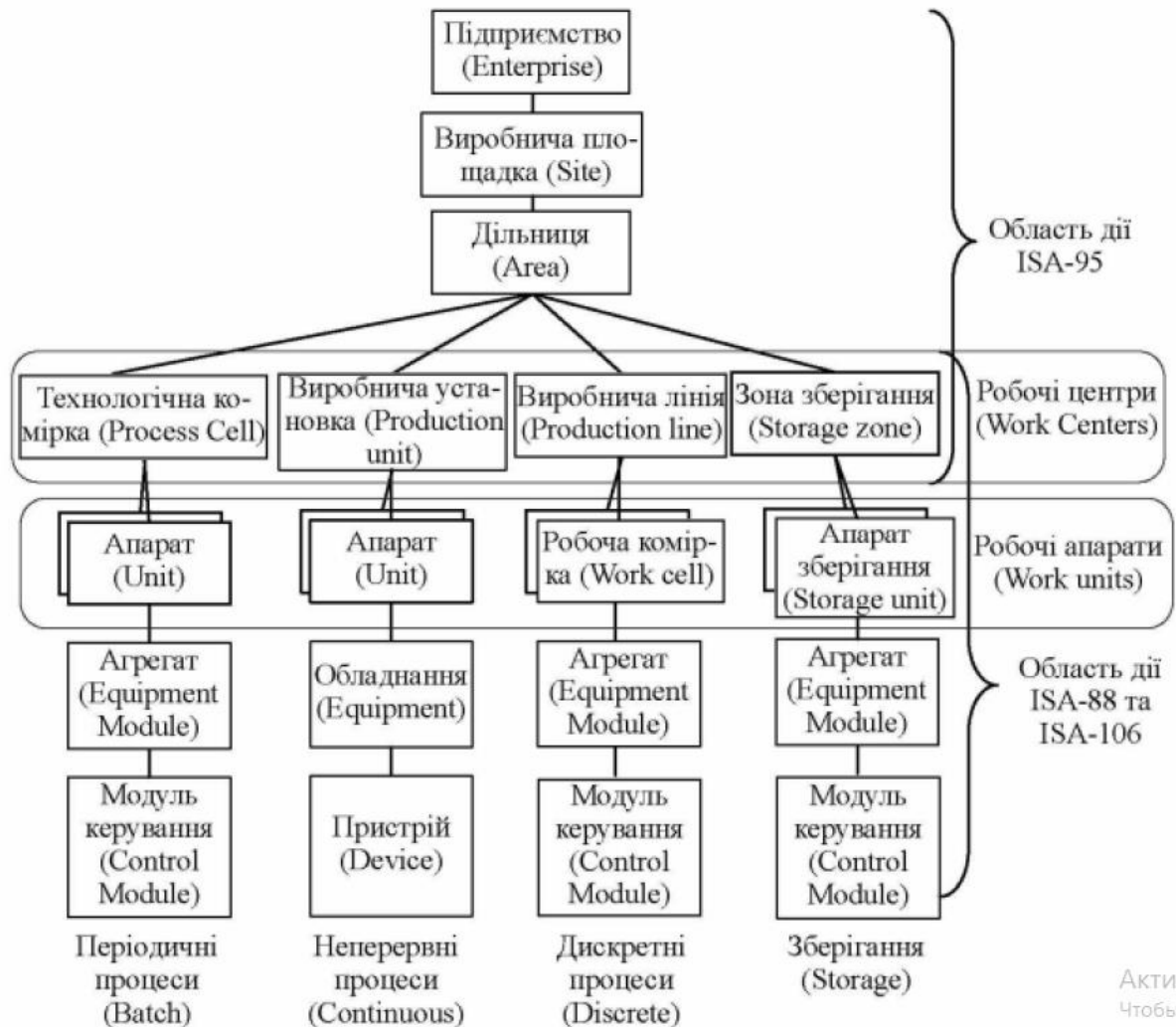


Рис. 2.2.1 Загальна ієрархічна модель обладнання для ISA-95 та ISA-88

В наведеній таблиці нижчу наведені основи визначення та області дії ISA-95.

Таблиця 2.2.1 Облaсті дії ISA-95

Назва	Визначення	Приклад
Підприємство (Enterprise)	це виробничий комплекс, що відповідає за певну номенклатуру виробів, які випускаються	агропромислове підприємство з декількома цукровими заводами, розташованими в різних місцях
Виробнича площадка (Site)	це група об'єднаних об'єктів що забезпечують виробництво певного набору видів продукції згідно календарного плану.	цукровий завод
Виробнича ділянка (Area)	це група об'єктів в рамках виробничої площадки, що забезпечує виробництво певних видів продукції згідно виробничої потужності.	для цукрового заводу це може бути лінія виробництва цукру-піску або ТЕЦ
Робочий центр	це технологічна комірка (Process Cell) для періодичних процесів, виробнича установка (Production Unit) для неперервних чи виробнича лінія (Production Line) для дискретних:	для цукрового виробництва є усі відділення з неперервними процесами, в т.ч. тракт подачі і мийки буряку, дифузійне відділення, відділення очистки і т.д.

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

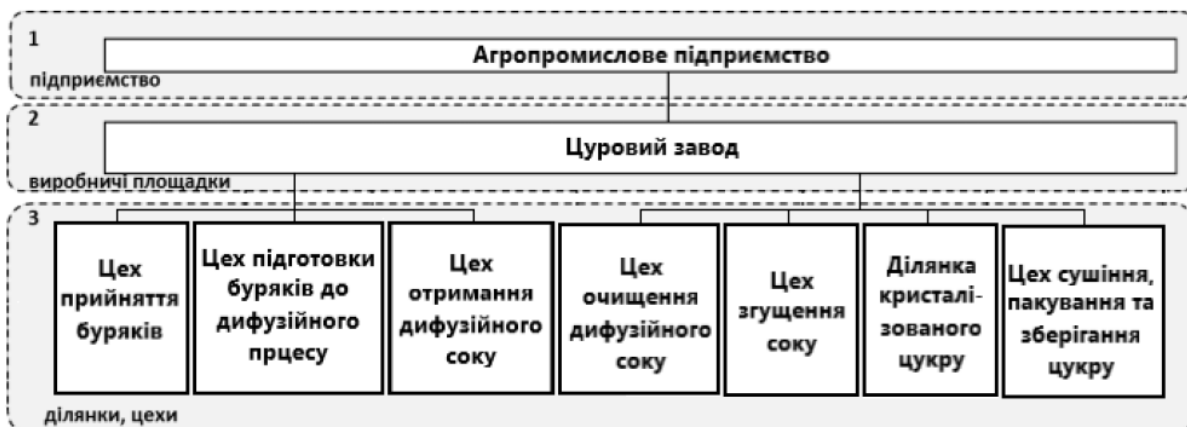


Рис. 2.2.2. Верхні рівні (1-3) ієрархічної моделі обладнання цукрового заводу відповідно до ISA-95

На рисунку 2.2.3 наведений 4-6 рівнів ієрархічної моделі обладнання для виробництва цукру з деталізацією на рівнях 5-6 відділення очищення дифузійного соку.



Рис. 2.2.3. Нижні рівні (4-6) ієрархічної моделі обладнання лінії виробництва цукру відповідно до ISA-95/106

2.3. Функціональна структура схема

Функціональна структурна схема вибудовується спираючись на вихідні дані, котрі являють собою уособлення вже визначених раніше характеристик та певних своїх особливостей вибраного об'єкта (процес очищення дифузійного соку) та вимог до нього.

Охарактеризування ознак функціональної структури мусить вмщати схему функціональної структури і висвітлювати задачі, котрі водночас зобов'язують висвітлюватися системою та розподілятися на визначену кількість взаємопов'язаних між собою інформаційних зв'язків під функцій, у відповідності їх виконання на певних окремовизначених технічних засобів.

Нижче показана зроблена функціональна структура виробництва цукру з основним та суміжним відділенням відповідно до вибраної тематики кваліфікаційної роботи.

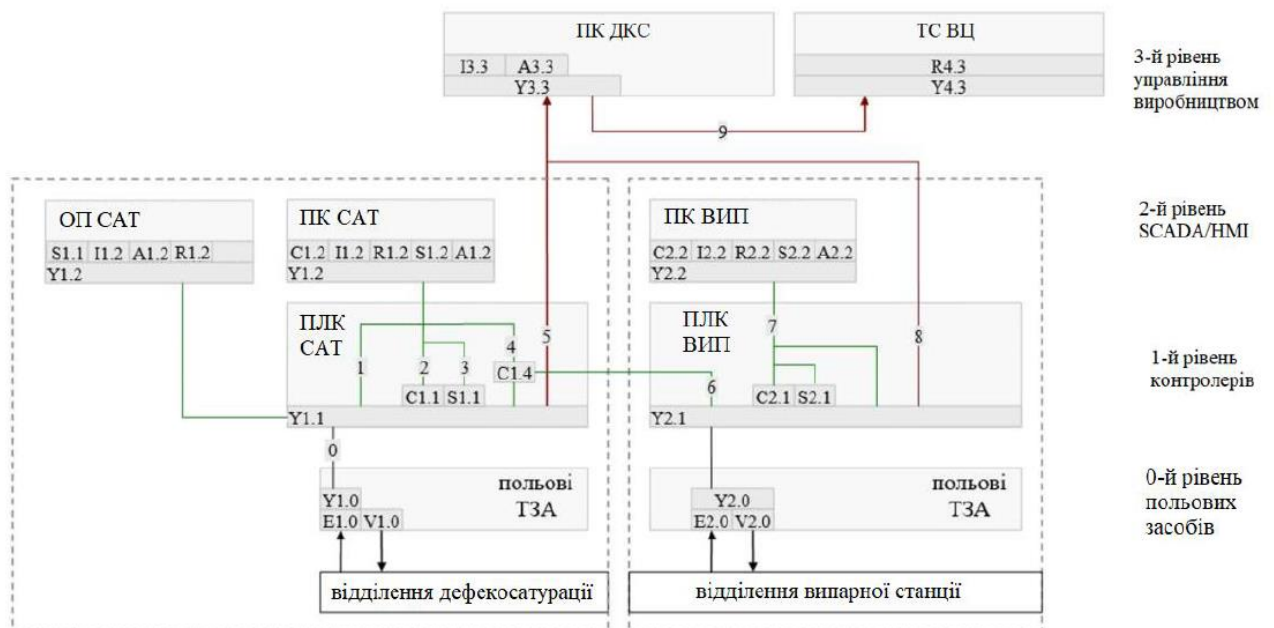


Рис. 2.3.1 Функціональна структура інтегрованої АСУ виробництва цукру

Таблиця 2.3.1 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

2.4. Опис функцій, що автоматизуються

Повний перелік установок, параметрів, допустимих значень, вид автоматизації та додаткових параметрів, котрі я використав в кваліфікаційній роботі вказано нижче.

Таблиця 2.4.1 Функції, 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	Трубопровід подачі дифузійного соку	Витрата	300 м ³ /год	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора
		Температура	45 ⁰ С	Регулювання	Управління	Вплив на клапан подачі пари
2	Переддефекатор	pH	11.2 од.pH	Регулювання	Стабілізація	Вплив на клапан подачі вапняного молока
3	Трубопровід подачі вапняного молока	Витрата	3 м ³ /год	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора
		Витрата	6 м ³ /год	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора
		Витрата	9 м ³ /год	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора
4	Трубопровід нефільтрованого соку	Температура	80 ⁰ С	Регулювання	Управління	Вплив на клапан подачі пари

Продовження таблиці 2.4.1

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, реєстрація, сигналізація	АРМ оператора
7	Трубопровід фільтрованого соку	Температура	90 ⁰ C	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, реєстрація, сигналізація	АРМ оператора
10	Трубопровід подачі сатураційного газу	Тиск	50 кПа	Контроль	Відображення, реєстрація, сигналізація	АРМ оператора

2.5. Структурна схема комплексу технічних засобів

При конструюванні структурної схеми, підбір потрібних засобів вищих рівнів керування та потрібних блоків та модулів контролера та RIO мусить виконуватися на підґрунті кінцевої інформації (даних). Більш конкретно, це описано в таблиці нижче.

Таблиця 2.5.1 Дані на базі яких 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, RIO та польовими засобами	схема автоматизації
характеристики промислових мереж	навчальна та довідникова література по промисловим мережам
характеристики мережних засобів вузлів	каталоги фірм-виробників ТЗА

Зазвичай, у більшості випадків, така структурна схема розроблюється у вигляді взаємопов'язаних блоків, які мають вигляд впорядкованої ієрархії.

Нижче мною було детально розроблено структурну схему, яка відповідає отриманим вихідним даним вибраному завданню, а саме процесу очистки дифузійного соку.

Таблиця 2.5.2 Відомість 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

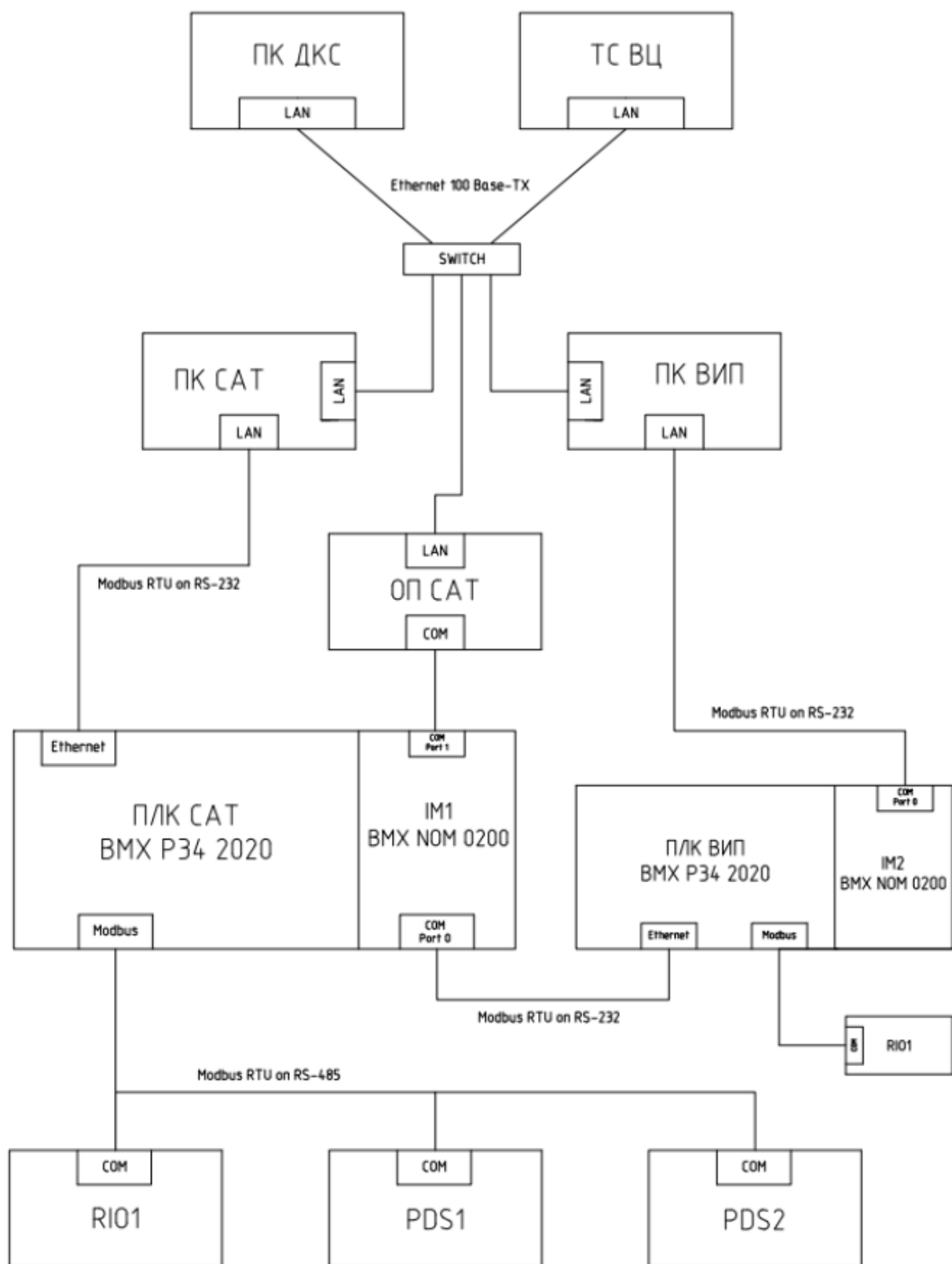


Рис. 2.5.1 Структурна схема комплексу технічних засобів АСУ ТП виробництва

2.6. Опис інформаційного забезпечення АСУ ТП виробництва та основного відділення

В цьому підпункті представлено схему, яка показує організацію та зваємодію інформаційних збірних даних на виробництві переробки буряку та, вибраного в темі роботі, основного відділення - відділення очистки дифузійного соку.

Таблиця 2.6.1. Дані на базі яких виконують 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 комплекс заходів, спрямованих на забезпечення необхідною інформацією про різноманітні аспекти технічного, технологічного та виробничого процесів для ефективного функціонування систем управління. Це охоплює збір, обробку, зберігання, передачу та аналіз різноманітної інформації, необхідної для прийняття управлінських рішень.

Інформаційне забезпечення може включати в себе різноманітні бази даних, системи моніторингу, засоби аналізу даних, програмне забезпечення для автоматизації обробки інформації, засоби звітності та інші технічні засоби для забезпечення оперативного та ефективного управління процесами в певній системі або підприємстві. Це допомагає збирати, обробляти та використовувати інформацію для прийняття рішень, вдосконалення технологічних процесів, виявлення проблем і розробки стратегій покращення ефективності управління.

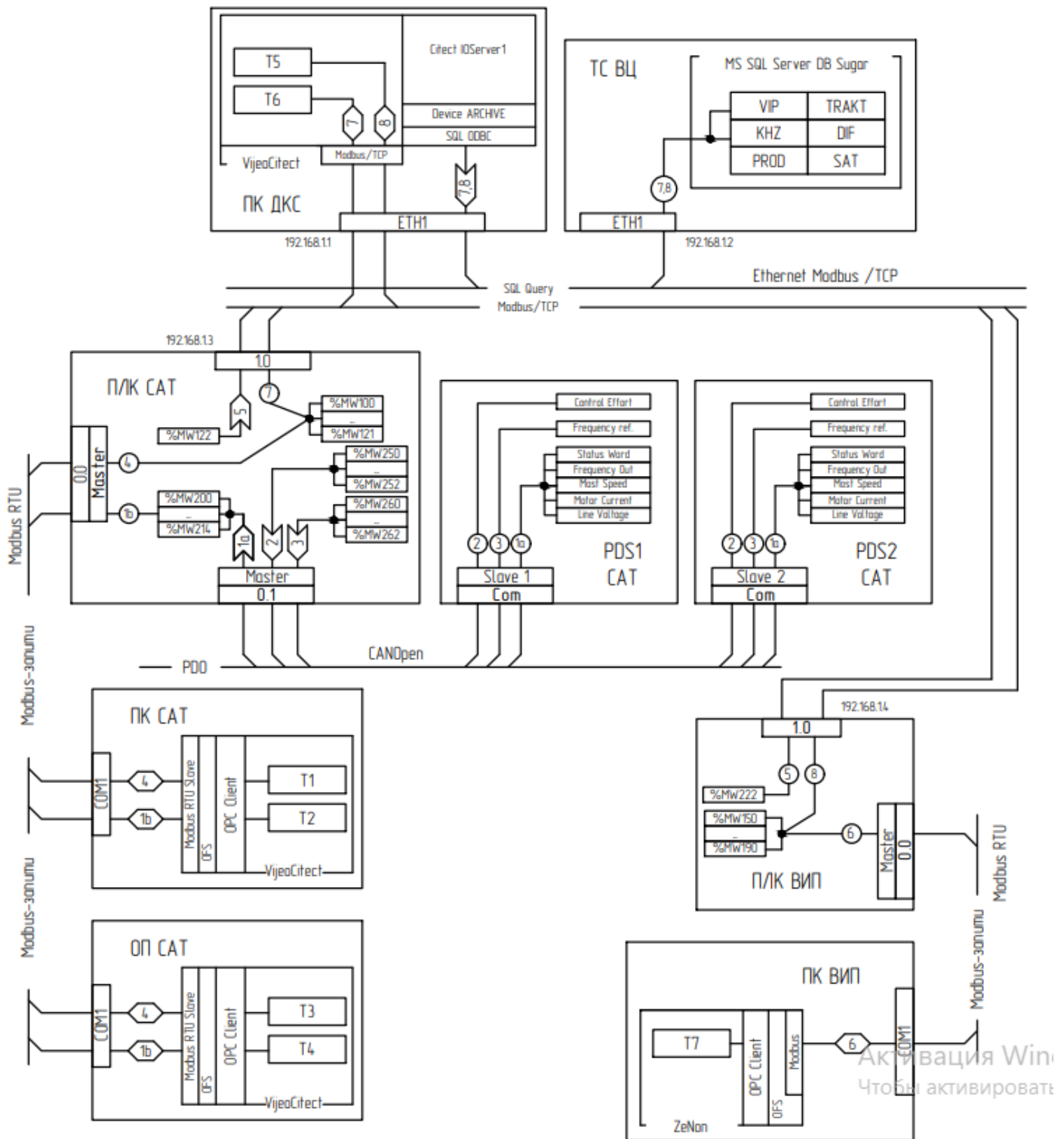


Рис. 2.6.1 Інформаційна структура мережі

Розділ 3. Розробка підсистеми управління технологічним процесом (обладнанням)

3.1. Обґрунтування вибору технічних засобів для вимірювання, виконавчих механізмів та регулюючих органів

Датчик вимірювання рН

Orbisint CPS11D є електродом для вимірювання рівня рН, редокс-потенціалу (окислення-відновлення) або потенціалу окислення-відновлення з різними типами процесів у промислових умовах. Цей електрод, вироблений компанією Endress+Hauser, використовується для точного та надійного вимірювання рівня рН або редокс-потенціалу в різних середовищах, таких як рідини, розчини або процесні стоки.



Рис. 3.2.1 Зовнішній вигляд датчик Orbisint CPS11D-7BA21

Принцип роботи цього датчика базується на взаємодії електродів з середовищем. Датчик має електрод, який занурений у вимірюване середовище. Для вимірювання рН використовується спеціальний скляний або керамічний електрод, покритий чутливим шаром, який реагує на концентрацію іонів водню. Для вимірювання редокс-потенціалу використовується електрод, зазвичай виготовлений із платини або з сплаву платини з іржавіючої сталі, який реагує на окислювально-відновні процеси.

Таблиця 3.2.1 Характеристики датчик Orbisint CPS11D

Діапазон вимірювання	рН 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

Під час вимірювання, електроди взаємодіють з рідиною, що дозволяє вимірювальному пристрою реєструвати електричний сигнал, який відображається у вигляді значень рівня рН або редокс-потенціалу на екрані приладу чи виводиться у систему керування/моніторингу. Зміна потенціалу між електродами вказує на кислотність або окисно-відновні властивості рідини, що дозволяє визначати відповідний показник.

Оскільки цей датчик використовується в промислових умовах, він зазвичай має захисні покриття та стійкість до агресивних середовищ, щоб забезпечити точні та надійні вимірювання навіть у важких умовах.

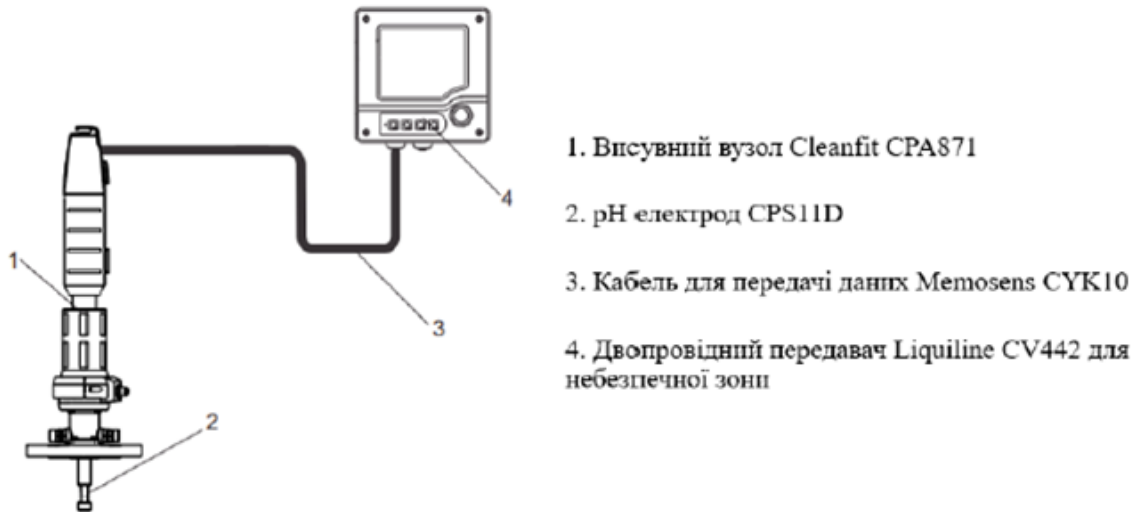


Рис. 3.2.2 Приклад вимірювальної системи для вимірювання рН

Вторинний вимірювальний перетворювач

Для повного відображення значення рН соку я підібрав модульний трансмітер, який використовується для моніторингу та контролю параметрів значення рН соку в апаратах, де відповідно до поставленого завдання потрібен цей нагляд.



Рис. 3.2.3 Зовнішній вигляд вторинного вимірювального перетворювача Liquiline CM442

Нижче в таблицях наведено основні переваги та недоліки та загальні характеристики Liquiline CM442.

Таблиця 3.2.2 Переваги і недоліки Liquiline CM442 компанії Endress+Hauser

Переваги	Недоліки
Гнучкість і модульність: CM442 має модульну конструкцію, що дозволяє користувачам вибирати необхідні модулі вимірювання залежно від конкретних потреб і процесу.	Вартість: Порівняно з деякими іншими пристроями вимірювання, CM442 може бути високою за вартістю.
Розширені функціональні можливості: Прискорює можливість вимірювання не тільки рівня рН, а й провідності, температури та інших параметрів рідин у промисловому середовищі.	Спеціалізованість: Залежно від потреби, можливо, буде зайвими деякі функції, що призводить до зайвого фінансового витрати.
Надійність і стабільність: Забезпечує високу точність вимірювань та надійність роботи в різних умовах.	Складність установки: Вимагає певних знань і навичок для встановлення та налагодження, щоб оптимально використовувати всі можливості пристрою.
Легка конфігурація і налаштування: Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс і просте програмування спрощують процес налаштування пристрою.	Залежність від середовища: Як і будь-який пристрій, CM442 може бути чутливим до деяких особливостей середовища, що може впливати на його роботу.

Таблиця 3.2.3. 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

На рисунку 3.2.4 зображено приклад підключення Liquiline CM442 через HART протокол.



Рис. 3.2.4. Підключення через HART протокол

Витратомір-лічильник

Для точного вимірювання дифузійного соку та рідин, які беруть участь в очистці мною було вибрано витратомір-лічильник від Kobold, котрий зазвичай використовується для точного вимірювання кількості об'єму рідини, яка проходить через трубопроводи, в яких вмонтовується даний прилад.



Рис. 3.2.5. Зовнішній вигляд Kobold DOM

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, який являється фіксованим.

Таблиця 3.2.4 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)

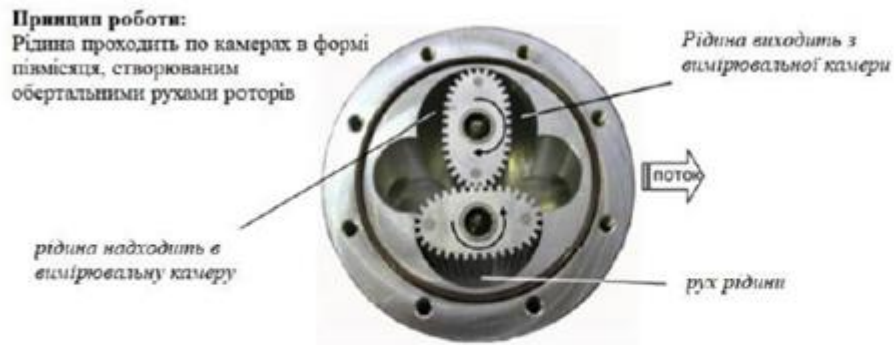


Рис. 3.2.6. Внутрішня будова Kobold DOM з імпульсним виходом



Рис. 3.2.7. Приклад експлуатації витратоміра-лічильника Kobold DOM

Датчик тиску

Для умов вимірювання та контролю тиску в трубах, де потрібний нагляд за параметрами значення тиску я застосував цифровий датчик тиску Sitrans P500 для неперервного моніторингу значень різниці тисків. Він гарантує відхилення характеристичної кривої не більше 0,03%, а також виключно низькі значення впливу статичного тиску і температури на результат вимірювання. Висока довготривала стабільність датчика знижує витрати на технічне обслуговування завдяки збільшеним інтервалам калібрування.



Рис. 3.2.8. Зовнішній вигляд датчика тиску Sitrans P500

Принцип роботи вимірювального перетворювача тиску Sitrans P500 базується на використанні п'єзорезистивного первинного перетворювача для конвертації вимірюваної різниці тисків у низькорівневий електричний сигнал. Цей сигнал подальше перетворюється в уніфікований струмовий вихід або цифровий сигнал згідно протоколу HART.

Описана конструкція перетворювача тиску використовує внутрішню кремнієву мембрану, на яку розміщені п'єзорезистори, що з'єднані в міст Уїтстона. Зовнішні технологічні мембрани з'єднані гідравлічно з кремнієвою мембраною через відповідне рідинне заповнення. При підключенні перетворювача до джерела живлення та на діючий тиск на технологічні мембрани, кремнієва мембрана

відхиляється пропорційно різниці тиску (перепаду), внаслідок чого електричний вихідний сигнал змінюється пропорційно.

Таблиця 3.2.5. 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 mA з протоколом HART

Sitrans P500, як вимірювальний перетворювач тиску, має декілька переваг:

1)Висока точність: Забезпечує високу точність вимірювання тиску, що робить його надійним пристроєм для різноманітних промислових застосувань.

2)Стійкість до впливу: Витримує різні умови експлуатації, такі як зміни температури, вологості та вібрації, завдяки внутрішній конструкції та використанню високоякісних матеріалів.

3)Широкий діапазон вимірювання: Здатний працювати у широкому діапазоні тиску, що робить його корисним для різних промислових сценаріїв.

4)Технологічна конструкція: Внутрішня кремнієва мембрана та п'єзорезистори забезпечують надійність та стабільність вимірювань.

5)Можливості комунікації: Деякі моделі Sitrans P500 мають можливості виводу даних через різні протоколи зв'язку, такі як HART, що полегшує взаємодію та інтеграцію з іншими системами контролю та моніторингу.

6)Надійність в експлуатації: Завдяки внутрішній конструкції, Sitrans P500 може працювати в тривалий термін зі стабільними результатами.

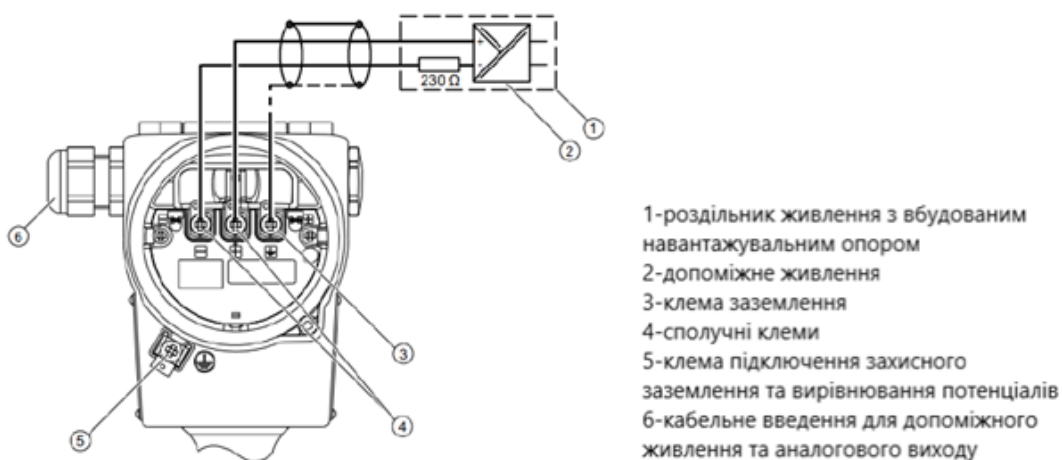


Рис. 3.2.9. Електрична схема підключення Sitrans P500

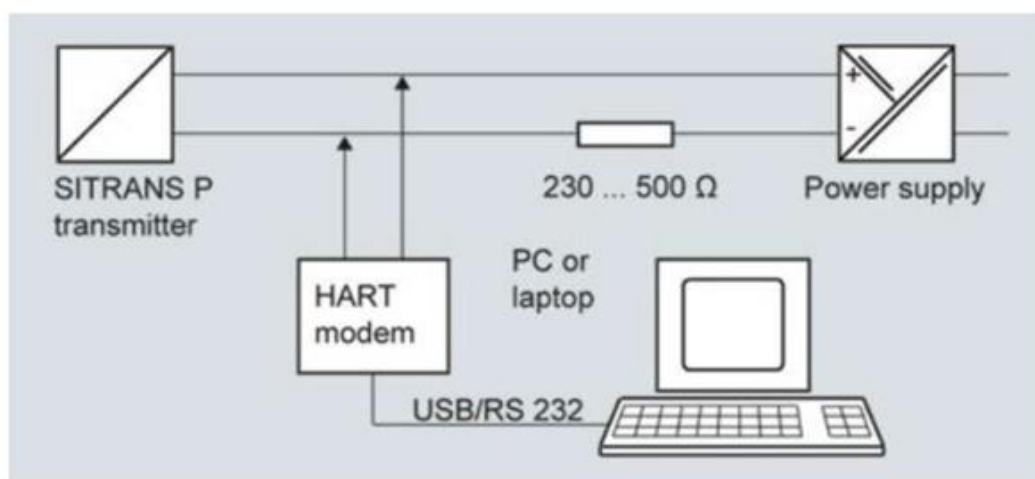


Рис. 3.2.10. Зв'язок по протоколу HART між комунікатором ПК і датчиком тиску

Термометр опору

Для вимірювання температури в своїй роботі я опирався на знання про його виборі. Мій вибір впав на термометрами опору, які засновано на властивості провідників змінювати електричний опір при зміні температури. При підвищенні температури електричний опір провідників збільшується, а при зниженні температури – зменшується. Кожному значенню температури відповідає певне значення опору провідника.

Спираючись на вище написане, було обрано SITRANS TF2 - це тип термометрів, вироблених компанією Siemens для вимірювання температури в промислових умовах.



Рис. 3.2.11. Зовнішній вигляд термометра опору SITRANS TF2

SITRANS TF2 має корпус із нержавійочної сталі із захисним склом. Захисна трубка з цапфою, що вкручується, містить датчик температури Pt100. Завдяки використанню нержавійочної сталі захисна трубка має високу хімічну стійкість, що означає високий захист датчика температури від зовнішніх впливів.

На задній стороні корпусу знаходиться електричне з'єднання для живлення за допомогою струмової петлі 4...20 мА. З'єднання здійснюється через штекерний роз'єм EN 175301-803А.

На передній стороні корпусу знаходиться 5-значний екран за скляною кришкою. Під дисплеєм знаходяться 3 клавіші для налаштування SITRANS TF2. Над дисплеєм знаходиться зелений та червоний індикатор безпеки для індикації робочого стану.

Принцип роботи та вимірювання температури за допомогою датчика SITRANS TF2 умовно можна розділити на чотири етапи.

- 1) Зовнішній датчик Pt100 отримує стабілізоване живлення від джерела струму. Падіння напруги на цьому датчику пропорційне вимірюваній температурі.
- 2) Сигнал, що представляє падіння напруги на датчику Pt100, конвертується аналого-цифровим перетворювачем в цифровий сигнал.
- 3) Цифровий сигнал проходить лінеаризацію та збігається з даними, що містяться в EEPROM в мікроконтролері. Це дозволяє перетворити цифровий сигнал у числове значення, яке відповідає температурі.
- 4) Оброблені дані про температуру відображаються на дисплеї.

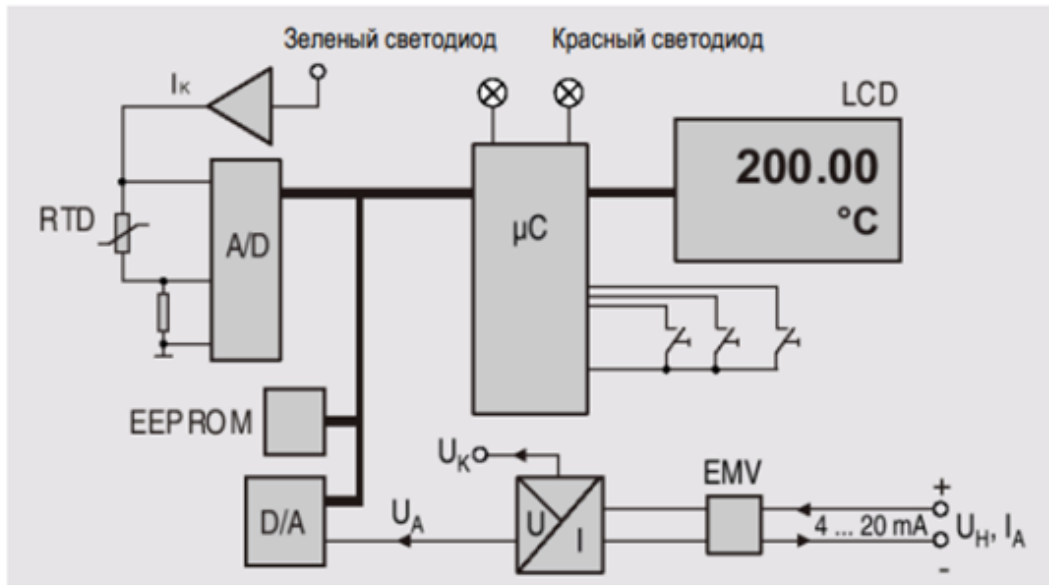


Рис. 3.1.12. Функціональна схема датчика температури SITRANS TF2



Рис.3.2.13. Схема підключення SITRANS TF2 до двопровідної лінії живлення

Таблиця 3.2.6. 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	50K(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 _н -12V)/0.023A
Характеристика	Пропорційна температура
Живлення	
Напруга на клеммах вимірювального перетворювача тиску U _н	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 рівня

Я використав ємнісний сигналізатор рівня серії ECASm 101, який призначений для визначення рівня рідини або матеріалу в контейнері чи резервуарі.



Рис. 3.2.14. Зовнішній вигляд ємнісного сигналізатора реле рівня серії ECASm 101

Ємнісний сигналізатор рівня ECASm 101 використовується для виявлення рівня рідини за допомогою зміни ємності в електричному колі, що змінюється з рівнем рідини. Коли рівень рідини досягає певного пункту, це може призвести до зміни ємності, що викликає реакцію у сигналізаторі рівня. Цей сигнал потім може бути використаний для активації реле, що в свою чергу може спрацювати, наприклад, для включення або вимикання певного процесу або сигналізації про рівень рідини.

Таблиця 3.2.7. 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

Для легкого калібрування в польових умовах електронний блок і сенсорну частину можна відокремити за допомогою кабелю, захищеного від зовнішніх умов. Особливість використовуваного кабелю забезпечує легкість встановлення для користувача без будь-якого впливу на ємнісні вимірювання.

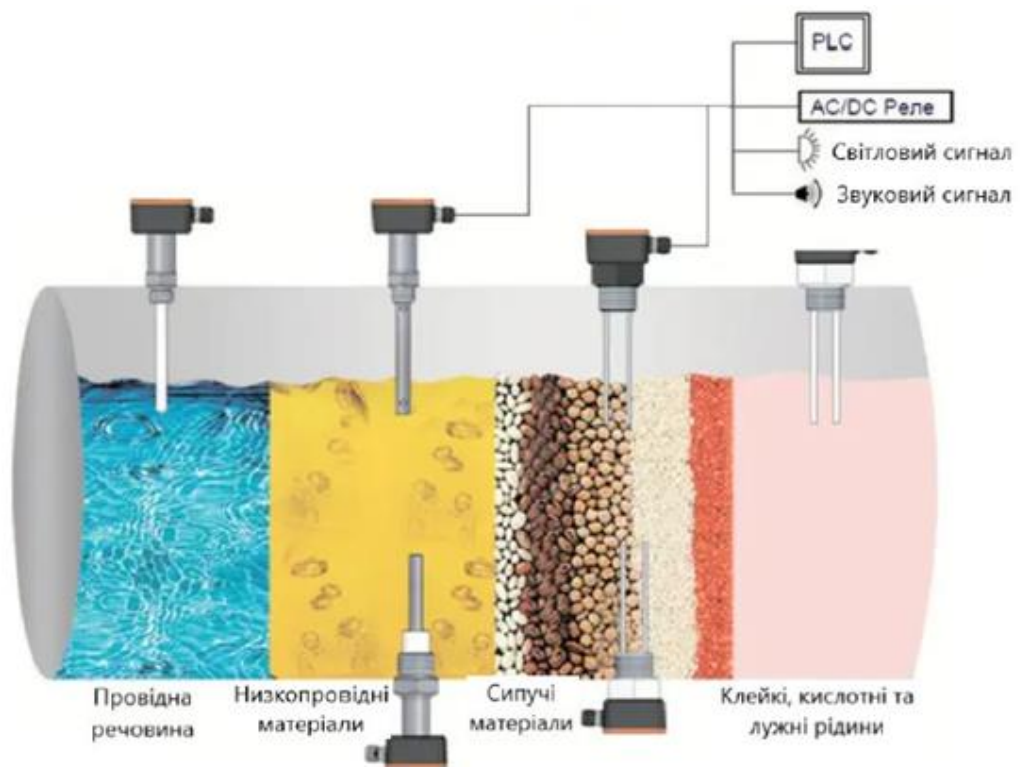


Рис.3.2.16. Принцип встановлення ємнісного сигналізатора реле рівня

Пневматичний клапан

Вибір регулюючого органу, а саме клапана, який виконує функцію подачі соку та основних елементів, котрі беруть участь у процесі очистки, впає на модульний клапан ARI-STEVI SMART 440.

Корпуси клапанів, які виготовляє компанія Ari-Armaturen, виготовляються з різних марок чавуну, вуглецевої і нержавіючої сталей. Різноманітне виконання затворів (параболічний, шліцьовий, розвантажений по тиску, з додатковим м'яким ущільненням для збільшення класу герметичності клапана в закритому стані) дозволяє підібрати найбільш відповідну внутрішню конструкцію регулюючих клапанів під певну задачу, забезпечуючи високу точність регулювання технологічного процесу і тривалий безвідмовний термін служби.

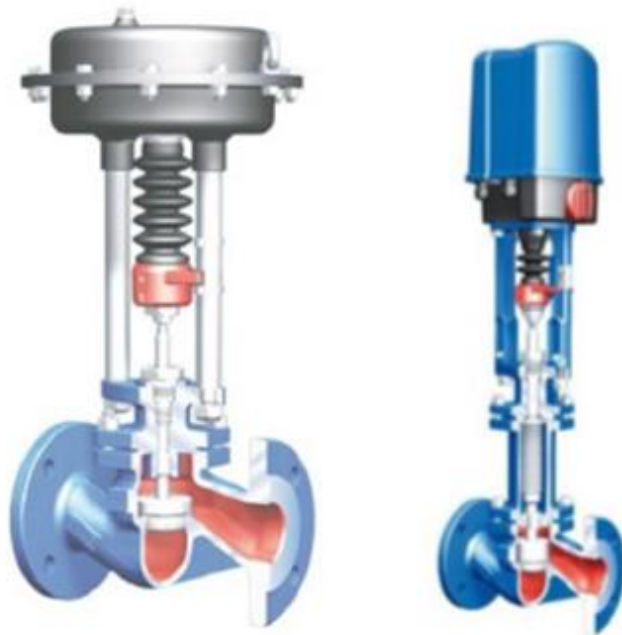


Рис. 3.2.17. Зовнішній вигляд клапана ARI-STEVI SMART 440

Регулюючі клапани ARI-STEVI SMART 440 оснащуються електроприводами Ari-Premio / Ari-Premio-Plus 2G власної розробки компанії Ari-Armaturen. Приводи забезпечують високу продуктивність - зусилля створюване приводами: 2,2кН, 5 кН, 12кН, 15кН, 25кН і надійність - до 1200 циклів включення привода на

годину в режимі регулювання. Приводи оснащуються двигунами BLDC (безщітчні електродвигуни постійного струму) з захистом від перегріву, які значно знижують енергоспоживання приводу, забезпечують виключно плавний і тихий хід штока регулюючого клапана.

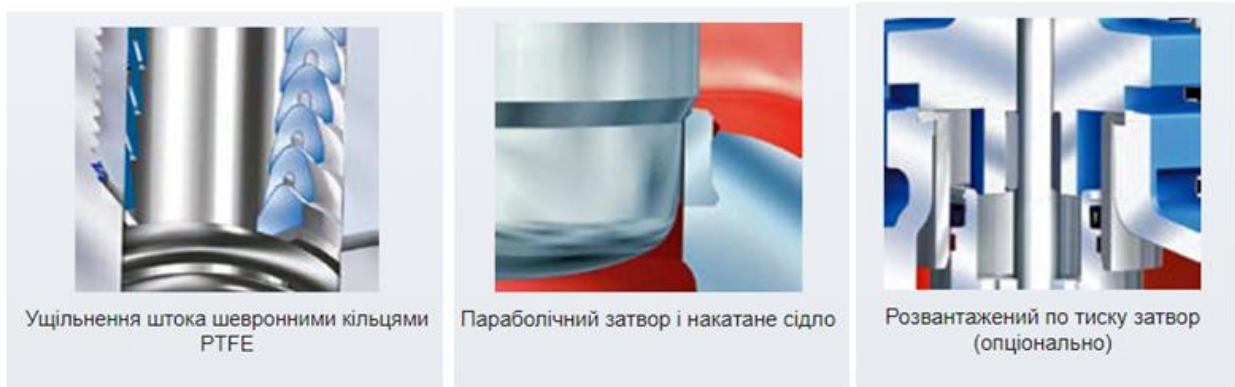


Рис. 3.2.18. Внутрішня конструкція регулюючого клапана

Таблиця 3.2.8. Технічні параметри клапана ARI-STEVI SMART 440

<i>Основні технологічні дані</i>	
Номінальні діаметри	DN 15...250
Номінальний 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 - Премію, Аіша, 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

Електродвигун АІР 132 S4 - загальнопромисловий асинхронний трифазний двигун з короткозамкненим ротором, призначений для роботи від мережі частотою змінного струму 50 Гц напругою 220/380 В.



Рис. 3.2.19. Зображення зовнішнього вигляду електродвигуна АІР 132 S4

Переваги асинхронного електродвигуна АІР 132 S4 можна зазначити саме такі: можливість короткочасних механічних перевантажень; простота пуску і легкість його автоматизації; переважно постійна швидкість при різних навантаженнях; підвищений ККД за рахунок високої точності виготовлення; знижений рівень шуму за рахунок застосування високоточних підшипників; ступінь захисту IP54 електродвигунів забезпечує підвищену захищеність оболонки електродвигуна від води і пилу; знижений рівень реактивних струмів, що призводить до значного зниження ризику перенапруги в мережі; висока експлуатаційна надійність електродвигуна при пусках і спонтанно виникаючих перевантаженнях отримана шляхом значного збільшення кратності пускових моментів.

Таблиця 3.2.9. 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_p/M_n	2.3
Співвідношення крутних моментів	M_{max}/M_n	2.3
Співвідношення струмів	I_p/I_n	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	$m_{нетто}$	64 кг
Вага брутто	$m_{брутто}$	67 кг

Конструктивні елементи загальнопромислового асинхронного трифазного електродвигуна змінного струму серії АІР в розібраному вигляді виглядає таким чином, як зазначено на рисунку 3.2.20.

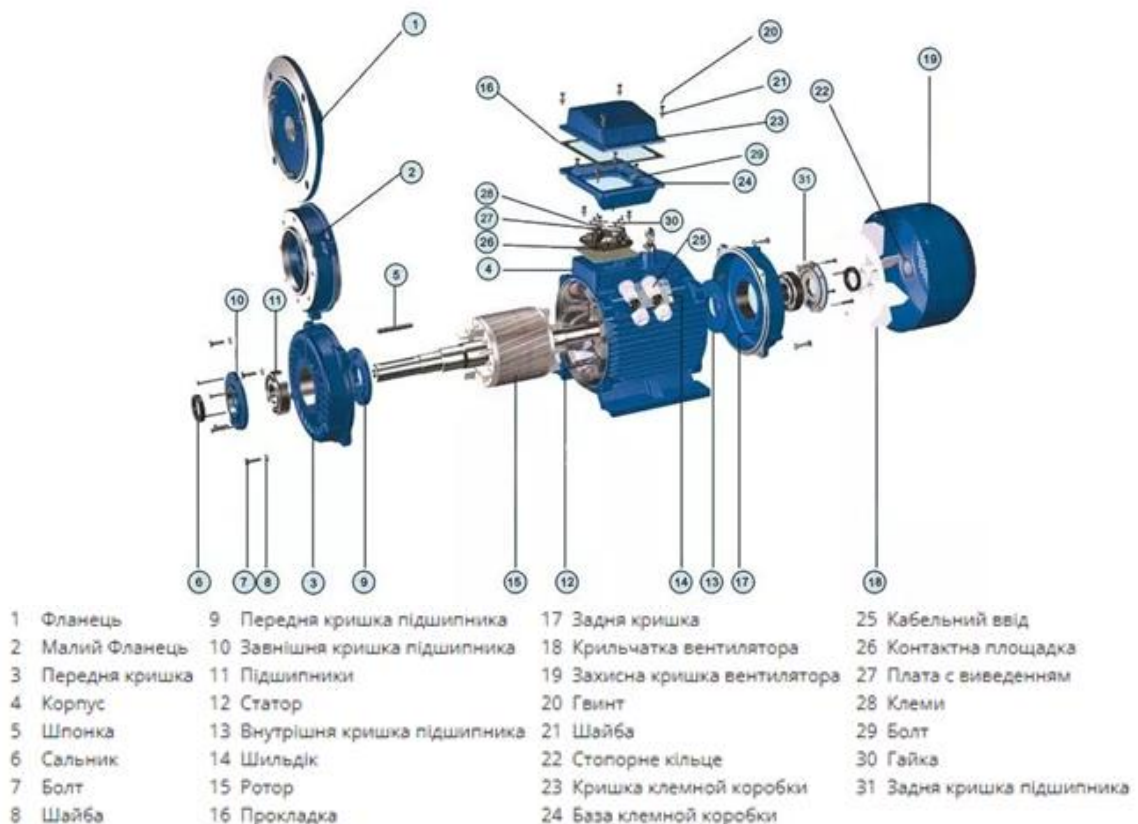


Рис. 3.2.20. Схема пристрою асинхронного двигуна АІР 132 S4

Схеми підключення АІР 132 S4 до трифазної мережі виконується в два варіантаб або 380В або 660В.

380 Вольт - оптимальний варіант підключення двигуна до трифазної мережі. Схеми "Зірка-Трикутник" для зменшення пускових струмів при включенні двигуна.

660 Вольт - три фазові дроти підключають до висновків двигуна в борні через контактори та перемикачі. Запуск "Зіркою", після набору потрібних обертів та швидкості, двигун перемикають на "Трикутник" для досягнення паспортної напруги.

Електродвигуни 7,5 кВт 1500 об/хв 380/660 В неможливо підключати за допомогою конденсаторів для роботи в однофазній мережі 220В, підключення здійснюється за допомогою інверторів (частотних перетворювачів), шаф керування, трансформаторів, пускачів, комутаційних схем.

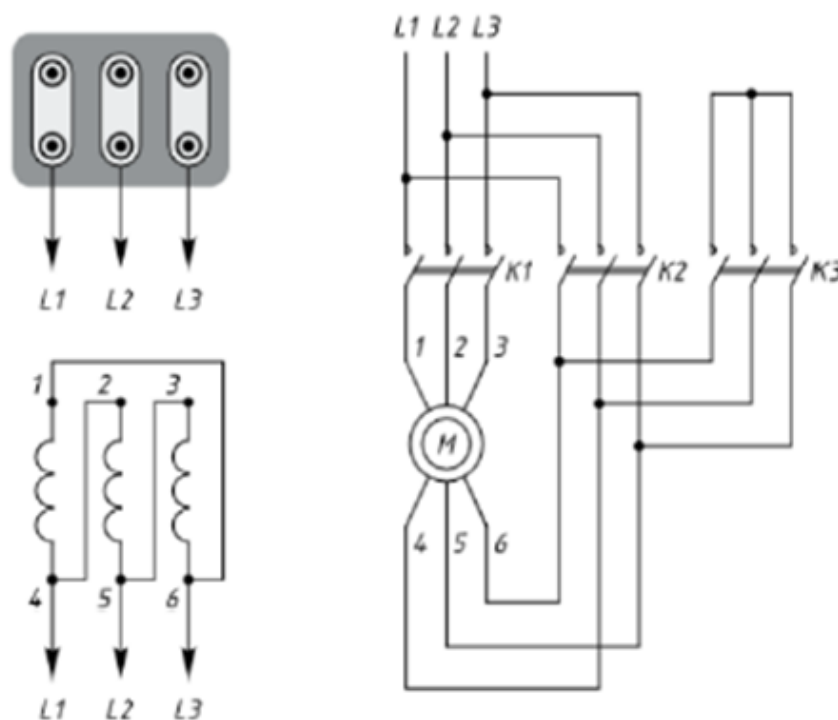


Рис. 3.2.21. Схем підключення «трикутник» та «конбіноване» електродвигуна АІР 132 S4

Частотний перетворювач

Danfoss VLT Micro Drive FC-051 - це частотний перетворювач (інвертор) з регулюванням швидкості, розроблений для управління електродвигунами в різних промислових застосуваннях.

Загальною метою даного частотного перетворювача є забезпечення точного керування обертанням електродвигуна з максимальною ефективністю та безпекою його роботи. Цей пристрій може бути використаний для широкого спектру застосувань, де необхідно регулювання швидкості роботи електродвигуна.



Рис. 3.2.22. Зовнішній вигляд Danfoss VLT Micro Drive FC-051 7.5 кВт

VLT Micro Drive FC-051 розроблений таким чином, щоб унеможливити проходження примусового повітряного потоку через електронні компоненти.

Перешкоди радіочастот від кабелю двигуна обмежуються вбудованим фільтром ВЧ-перешкод, чим забезпечується робота з кабелем довжиною до 15 м (екранованим) і до 50 м (неекранованим) з виконанням європейських норм ЕМС.

За допомогою вбудованих функцій гальмування постійним та змінним струмом VLT Micro Drive може трансформувати кінетичну енергію навантаження на енергію гальмування для зниження швидкості двигуна.

Теплові втрати відводяться через радіатор, залишаючи електроніку захищеної від пилу та бруду виробничого приміщення.

Всі приводи постачаються з конформним покриттям друкованих плат для більшого ресурсу та надійності.

Радіатор ефективно відводить тепло від електроніки, збільшуючи термін служби та надійність приводу.

Силові модулі приводу VLT забезпечують роботу всієї системи без перегріву завдяки малим втратам потужності.

Високоєфективне охолодження дозволяє працювати в умовах з температурою повітря до 50°C.

Таблиця 3.2.10. Технічні характеристики VLT Micro Drive

Напруга живлення (L1, L2, L3)	
Діапазон напруг	1 x 200 – 240 В ± 10% 3 x 200 – 240 В ± 10% 3 x 380 – 480 В ± 10%
Частота мережі	50/60 Гц
Коефіцієнт потужності (cos φ)	(> 0,98)
Перемикання на стороні живлення (L1, L2, L3)	1-2 рази на хвилину
Вихідні характеристики (U, V, W)	
Вихідна напруга	0–100 % напруги мережі
Вихідна частота	0–200 Гц (режим VVC+) 0–400 Гц (режим U/f)
Перемикання на виході	Необмежено
Час прискорення (гальмування)	0,05 - 3600 с
Цифрові входи	
Програмовані цифрові входи	5
Логіка	PNP або NPN
Рівень напруги	0–24 В
Максимальна напруга на вході	28 В
Вхідний опір, Ri	Близько 4 кОм
Імпульсний вхід	
Програмований імпульсний вхід	1
Рівень напруги	0-24 В (PNP позитивна логіка)
Точність входу (0,1 – 110 кГц)	Макс. похибка 0,1% від повної шкали
Частота на вході	20-5000 Гц
Аналогові входи	
Аналогові входи	2
Режими	1 струмовий, 1 перемикач: напруга або струм
Рівень напруги	0 – 10 В (масштабований)
Рівень струму	0/4 – 20 мА (масштабований)
Аналоговий вихід	
Програмований аналоговий вихід	1
Діапазон струму на аналоговому виході	0/4-20 мА
Макс. навантаження на загальному аналоговому виході	500 Ом
Точність аналогового виходу	Макс. похибка: 1% від повної шкали

Внутрішнє джерело живлення	
Вихідна напруга	10,5±0,5 В, 24±0,5 В
Максимальне навантаження (10 В)	25 мА
Максимальне навантаження (24 В)	100 мА
Релейні виходи	
Програмовані релейні виходи	1
Макс. навантаження на клеммах	~240 В, 2 А
Комунікація із шинами передачі даних	
FC Protocol, Modbus RTU	
Довжина кабелю відповідно до EN55011	
Максимальна довжина екранованого (броньованого) кабелю двигуна	15 м
Максимальна довжина неекранованого (неброньованого) кабелю двигуна	50 м
Навколишнє середовище, виконання приводу	
Корпус	IP 20
Тест на вібрацію	0,7 g
Відносна вологість	5 – 95 % (IEC 721-3-3; клас 3К3 (без конденсації під час роботи))
Агресивна середа	IEC 721-3-3; клас покриття 3С3
Макс. температура середовища	До 50 °С
Середньодобова температура середовища	До 40 °С
Дозволи та сертифікати	
CE, C-tick, UL, сертифікат відповідності	
Захист та функціональні властивості	
– Електронний тепловий захист двигуна від перегріву	
– Моніторинг температури радіатора захищає привід від перегріву.	
– Привід захищений від к.з. між фазами двигуна U, V, W	
– Привід захищений від к.з. вихідних фаз U, V, W на землю	

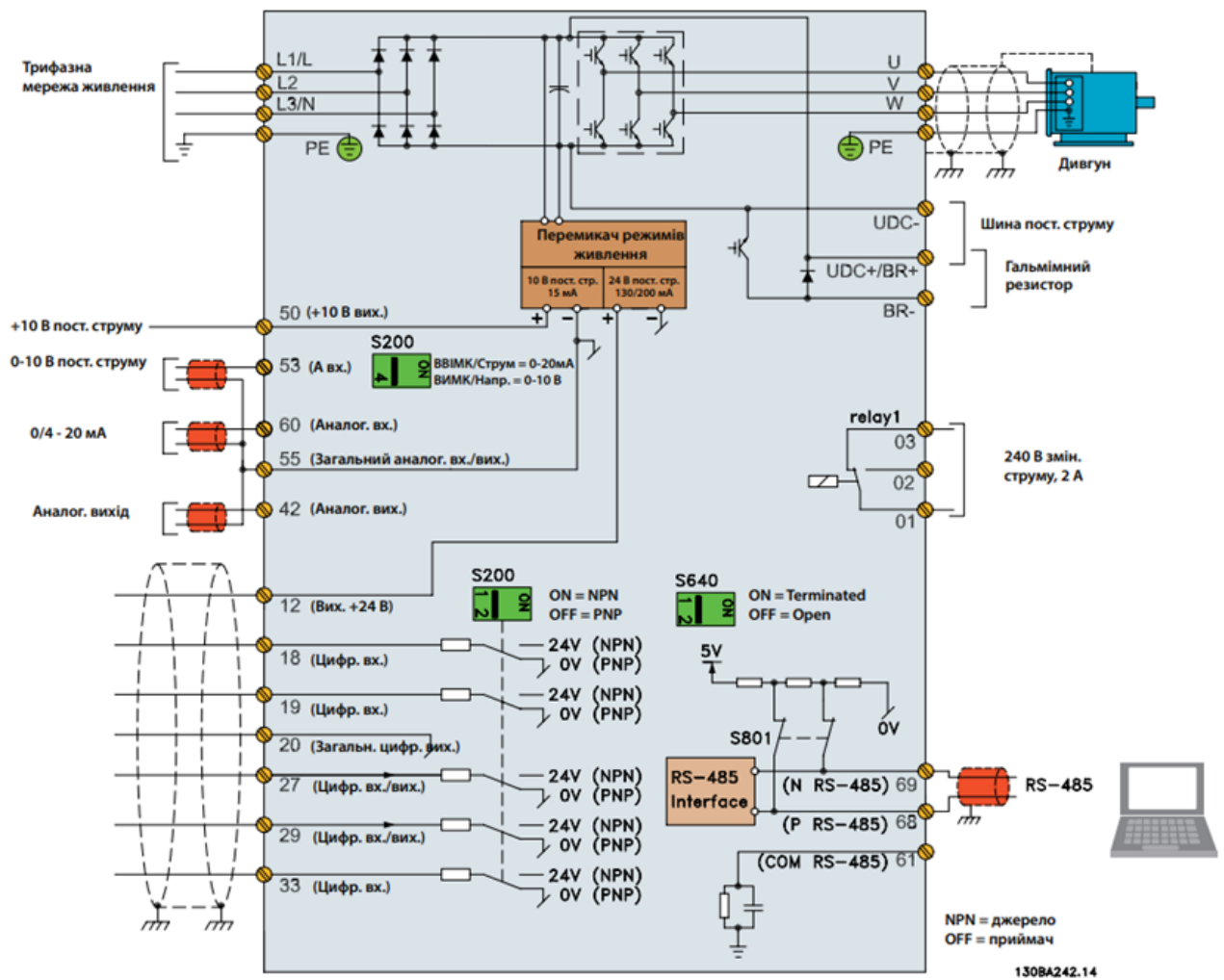


Рис. 3.2.23. Схема електричних з'єднань усіх клем

Поршневий компресор

Для ефективної роботи пневматичної системи на головному відділенні очищення дифузійного соку потрібно вибрати компресор, який буде відповідати цій функції.

Компресор Matari M740E55-3 провідного японського бренду Matari має всі необхідні характеристики для повноцінної роботи більшості пневматичних інструментів.

Компресор масляний MATARI M740E55-3 з ремінним приводом являє собою складний електромеханічний виріб і призначений для виробництва стисненого повітря і його дозованої подачі під тиском споживачам.



Рис. 3.2.24. Зовнішній вигляд Matari M740E55-3

Особливості конструкції MATARI M740E55-3:

1)Ресивер, об'ємом 270 літрів, служить для збору стисненого повітря, вирівнювання пульсації повітря, що виходить в результаті зворотно-поступального руху поршня компресора, усунення коливань тиску в трубопроводі

при нерівномірному споживанні повітря, часткового очищення повітря від води і масла, що потрапляють в ресивер разом зі стисненим повітрям. Ресивер є також корпусом, на якому змонтовані вузли та деталі компресора.

2) **Електродвигун** призначений для приводу компресорної групи. В моделі MATARI M740E55-3 привід є ремінним, що означає, що частота обертання колінчастого вала поршневої групи менше частоти обертання електродвигуна і забезпечує плавність ходу і менший шум в роботі.

3) **Блок управління** включає в себе манометр тиску в ресивері; манометр тиску на виході; реле тиску (прессостат); регулятор тиску на виході; роздатковий кран; запобіжний клапан. Запобіжний клапан призначений для запобігання підвищенню тиску в ресивері вище допустимого. Дренажний клапан служить для зливу конденсату, що утворюється в ресивері.

4) **Компресорна група** – поршневого типу з трьома циліндрами, призначена для вироблення стиснутого повітря. Змащення тертьових поверхонь деталей компресора здійснюється розбризуванням масла, резервуаром для якого служить картер.

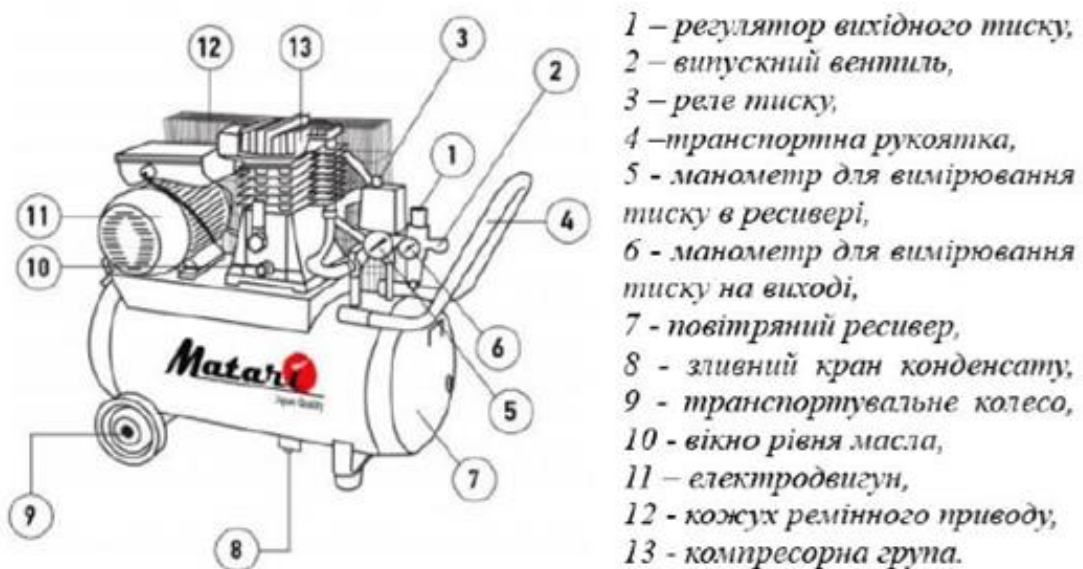


Рис. 3.2.25. Будова компресора Matari M740 E55-3

Нижче наведено принцип роботи MATARI M740E55-3.

Крутний момент від електродвигуна, через ремінний привід, передається на кривошипно-шатунний механізм компресора. Повітря з атмосфери через

повітряний фільтр засмоктується в головку циліндра і через відповідні проточки потрапляє у всмоктувальну камеру. При переміщенні поршня вниз від головки в циліндрі створюється розрядження, і повітря заповнює порожнину циліндра. При зворотному ході поршня повітря в циліндрі починає стискатися, його тиск стає вище атмосферного, що всмоктує клапан закривається, припиняючи подачу зовнішнього повітря в циліндр. У міру подальшого руху поршня повітря в циліндрі стискається до тих пір, поки його тиск не подолає опір безповоротного клапана і тиск стисненого повітря в нагнітальному трубопроводі, і стиснене повітря виштовхується в ресивер. При досягненні в ресивері максимального тиску, реле тиску розриває електричний ланцюг на електродвигун і зупиняє компресор. При зниженні тиску в ресивері, реле тиску замикає електричний ланцюг і знову запускає компресор. Регулювання тиску повітря на виході компресора здійснюється за допомогою регулятора тиску.

Таблиця 3.2.11. Технічна характеристика Matari 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:	Ремісний
Потужність двигуна (квт):	5.5 кВт	Тип компресора:	Масляний
Продуктивність на виході:	740 л/хв		

Блок ручного управління

Блок ручного управління БРУ-7 призначений для використання в різних системах промислової автоматизації виробничих процесів. Він може служити як центр керування для аналогових виконавчих механізмів або для ручного введення аналогових сигналів з можливістю їх відображення.



Рис.3.2.26. Зовнішній вигляд блоку ручного управління БРУ-7

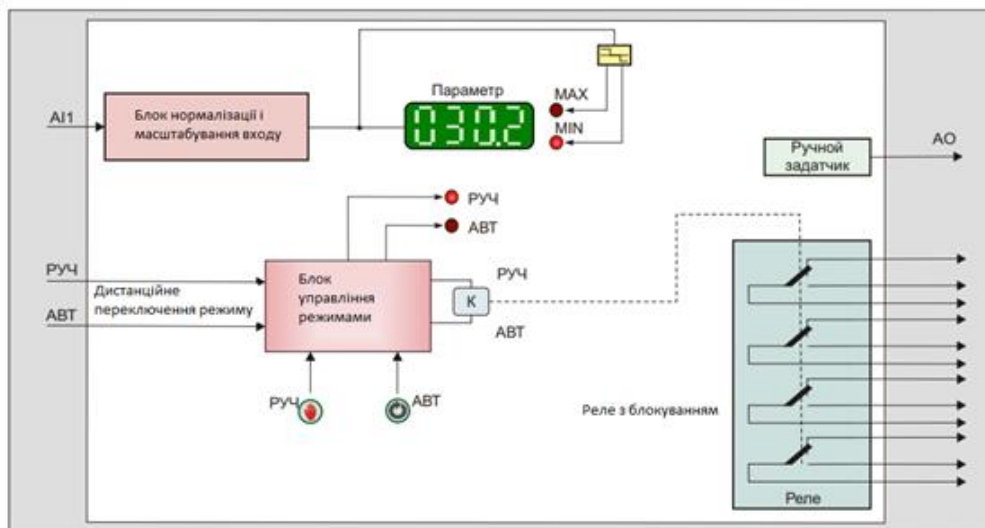


Рис. 3.2.27. Функціональна схема БРУ-7

Таблиця 3.2.12. Технічні характеристики БРУ-7

Технічна характеристика	Значення
Аналоговий вхідний сигнал	
Кількість аналогових входів	1
Тип вхідного аналогового сигналу	0-5мА ($R_{вх} = 400 \text{ Ом}$) 0(4)-20мА ($R_{вх}=100 \text{ Ом}$) 0-10В ($R_{вх} = 25\text{кОм}$)
Період вимірювання	не більше 0,1 с
Основна наведена похибка вимірювання	$\pm 0,2\%$
Гальванічна ізоляція	По входу, виходу та живленню
Цифрова індикація	
Кількість цифрових дисплеїв	1
Точність індикації	$\pm 0,01\%$
Кількість розрядів цифрового індикатора	4
Висота цифр світлодіодних індикаторів	14 мм
Аналоговий вихідний сигнал	
Кількість аналогових виходів	1
Тип вихідного аналогового сигналу	0-5 мА ($R_{н}\leq 2\text{кОм}$), 0-20 мА, 4-20 мА ($R_{н}\leq 500 \text{ Ом}$), 0-10В ($R_{н}\geq 2\text{кОм}$)
Основна наведена похибка вимірювання	$\pm 0,2\%$
Електричні дані	
Напруга живлення змінного струму	$\sim 220(+22,-33)\text{В}$, 50Гц
Напруга живлення постійного струму	$\approx (24\pm 4)\text{В}$
Потужність від мережі змінного струму	Не більше 7 Вт
Струм споживання по постійному струму	Не більше 150 мА

Підключення зовнішніх сигналів блоку ручного управління БРУ-7 здійснюється за допомогою клемного блокового з'єднувача. Він приєднується до роз'єму на задній панелі блоку БРУ-7. Зовнішній вигляд та підключення КБЗ-24-19 показані нижче.

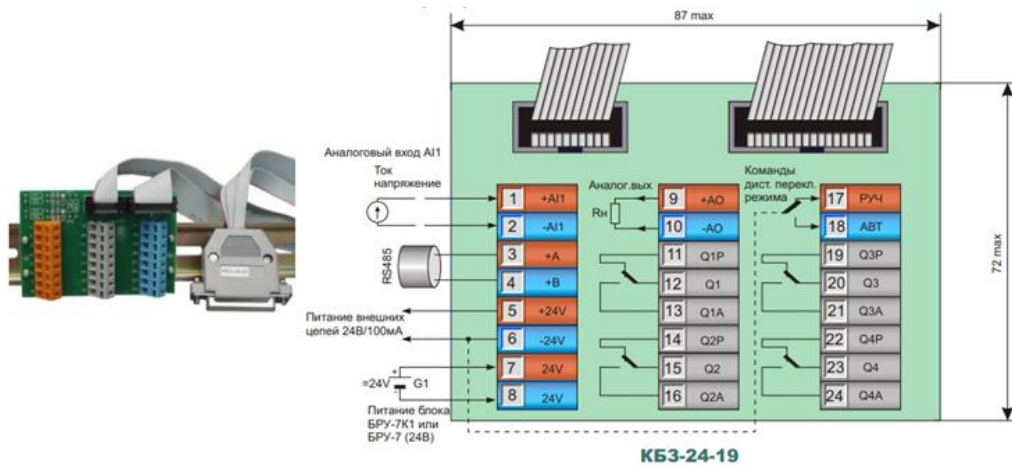


Рис. 3.2.28. Схема підключення КБЗ-24-19

Схема зовнішніх з'єднань блоку ручного керування БРУ-7 підключення входів-виходів до приладу.

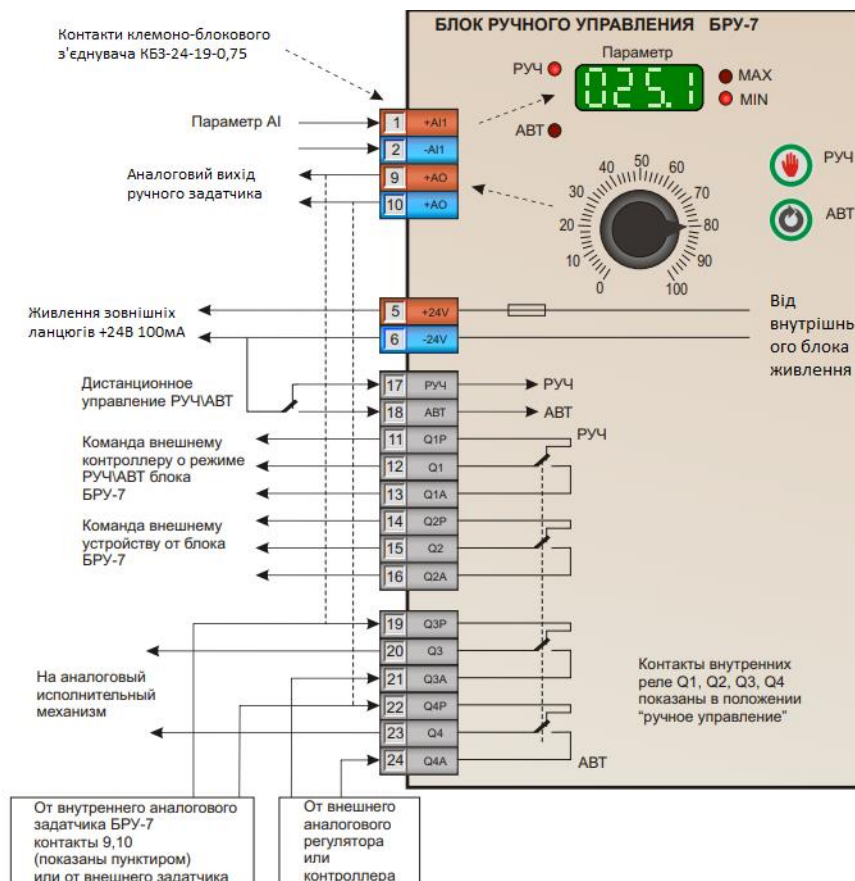


Рис. 3.2.29. Підключення БРУ-7

Електропневматичний перетворювач

ASCO NUMATICS серії 617 Sentronic LP - це електропневматичний перетворювач, котрий вміщує в собі ряд функцій, таких як низьке енергоспоживання та керування (3,8 Вт), цифровий (інтегрований) із функціональними кнопками (опція), пропорційний клапан із пілотним керуванням.



Рис.3.2.30. Зовнішній вигляд ЕПП Sentronic LP серії 617 ASCO Numatics

Компанія Emerson представила клапани для регулювання тиску ASCO Numatics Sentronic LP (серія 617), які мають можливість інтеграції зв'язку IO-Link. Це дозволяє забезпечити ефективний контроль і надійну діагностику, сприяючи впровадженню практик прогностичного технічного обслуговування за економічно вигідних умов.

Застосування засобів зв'язку IO-Link для отримання даних про ці пристрої на виробництві сприятимуть підвищенню надійності, доступності та ефективності заводу, сприяючи його прибутковості.

Клапани Sentronic LP, які є універсальними, надають можливість оптимізувати процес безперервно, незалежно від вимог конкретного застосування. Також вагомою перевагою їх вибору є те, що вони регулюють тиск до 12 бар (174 psi) і являються електромагнітно-сумісними відповідно до Directive 2014/30/EU Electromagnetic Compatibility (EMC.)

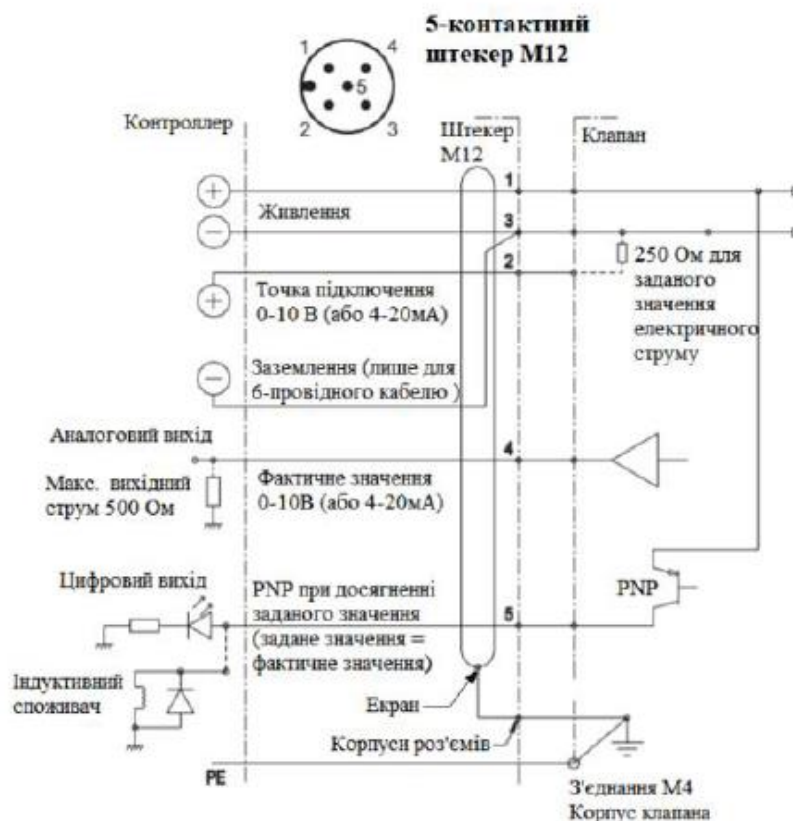
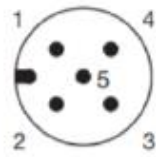


Рис. 3.2.31. Електричне підключення перетворювача Sentronic LP серії 617 ASCO

Особливістю клапан ASCO Numatics Sentronic LP (серія 617) являється те, що він може працювати тільки при напрузі живлення 24 В постійного струму з допустимим відхиленням $\pm 10\%$ та максимальною пульсацією на рівні 10%. Випадкове перевищення напруги або пульсації струму, що виходить за ці межі, може призвести до пошкодження електроніки регулятора тиску.

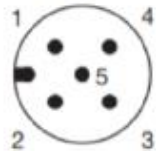
Стандартне аналогове управління



Рin	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 кожного сигналу сигналу більше 2 м, щоб мінімізувати падіння напруги для кожного сигналу

Дискретне управління



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

Рис. 3.2.32. Розташування контактів роз'єму Sentronic LP серії 617 ASCO

3.2. Схема автоматизації та специфікація засобів автоматизації польового рівня

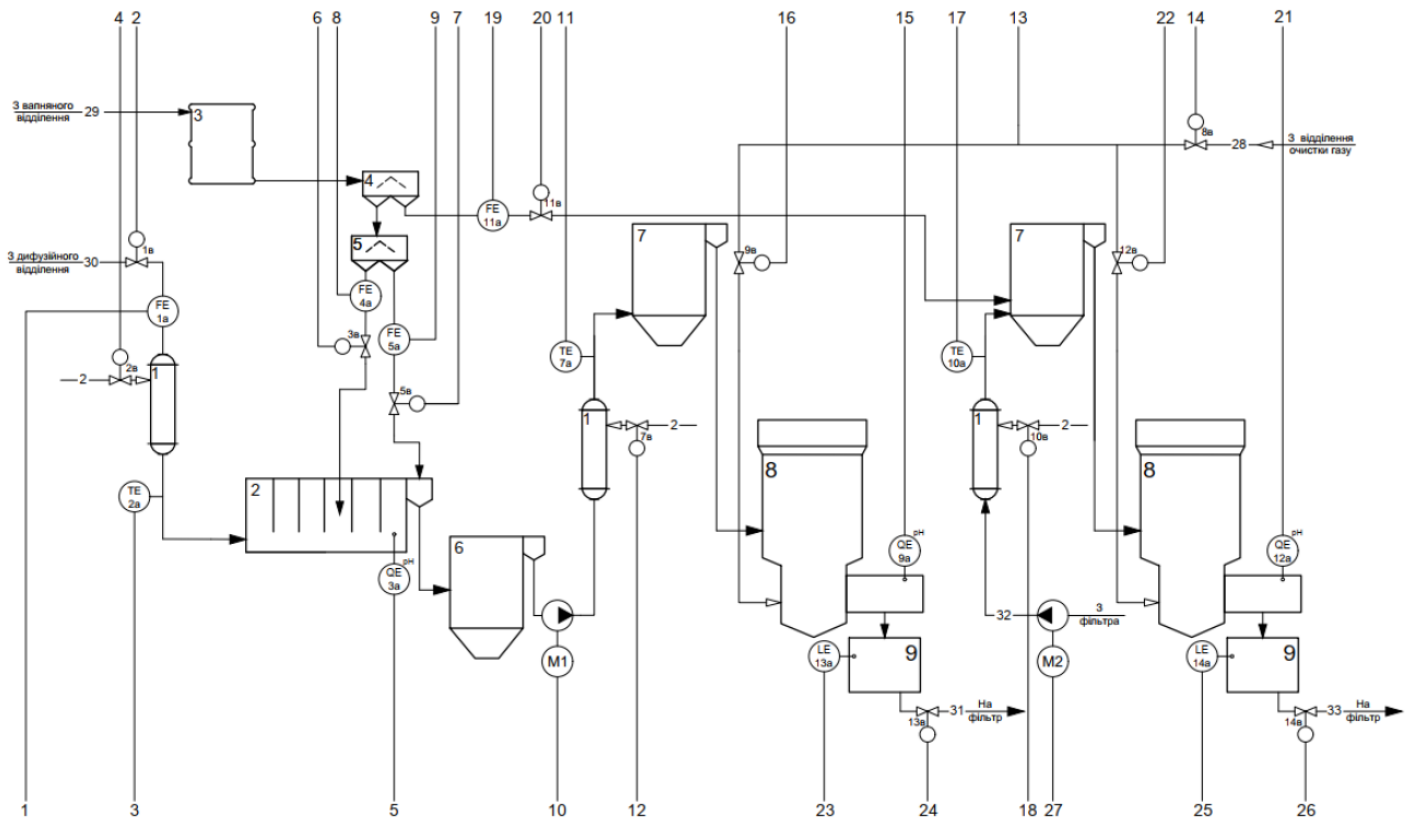


Рис. 3.1.1. Функціональна схема автоматизації технічним комплексом цукрового заводу з підсистемою очистки дифузійного соку

Розробивши функціональну схему автоматизації, яка зазначена вище, мною було проаналізовано та вибрано основні параметри та елементи, котрі б в повній мірі відображали відповідність роботи основного відділення очистки дифузійного соку.

Повну картину роботи розробленої схеми автоматизації та послідовність дій зображується в таблиці нижче.

Таблиця 3.1.1 Опис функціональної схеми автоматизації

1	подачу та контроль витрати дифузійного соку, що надходить в переддефекатор;
2	стабілізація температури в трубопроводі дифузійного соку, котре йде на переддефекатор;
3	регулювання рН соку клапаном подачі вапняного молока в третю секцію переддефекатора;
4	подачу та контроль кількості вапняного молока, котре подається на холодний ступінь дефекації;
5	управління двигуном для подачі дифузійного соку на гарячий дефекатор з попередньою стабілізацією його температури за допомогою подачі пари в підігрівник;
6	регулювання рН соку I сатурації клапаном подачі сатураційного газу;
7	контроль рівня в збірнику нефільтрованого відсатурованого соку після I сатурації ввімкненням клапану його подачі на фільтрувальне обладнання
8	стабілізацію тиску в трубопроводі сатураційного газу
9	подачу відфільтрованого соку для подальшої сатурації за допомогою управління двигуном;
10	контроль витрати вапняного молока, котре подається на гарячий ступінь дефекації перед II сатурацією;
11	регулювання рН соку II сатурації клапаном подачі сатураційного газу;
12	контроль рівня в збірнику фільтрованого відсатурованого соку після II сатурації ввімкненням клапану його подачі на кінцеве фільтрувальня перед випарюванням.

Таблиця 3.1.2. 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 . Ржнв.=140кПа, Рвих.=20-100кПа	ARI-STEVI SMART 440	12	Ari-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 таблиці 3.1.2

7	6а, 15а	На щиті	Блок ручного управління для перемикачів на ручне керування. Вихідний сигнал 4...20мА, Rвх.=100 Ом, Rвих.≤500 Ом	БРУ-17	2	Мікрол Україна
8	16, 26, 36, 56, 76, 86, 96, 106, 116, 126, 136, 146	На щиті	Електропневматичний перетворювач. Перетворює пропорційний електричний сигнал 4...20мА або 0-10В в пропорційний пневматичний сигнал 20-100кПа, Рж=140кПа	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

3.3. Схеми електричні принципові контурів вимірювання, управління та сигналізації

На розроблений мною принциповій електричній схемі контурів вимірювання, управління та сигналізації параметрів комплексу цукропереробних підприємств з головним відділенням очистки дифузійного соку від нецукрів показано з'єднання вимірювальних приладів та виконавчих механізмів до Modicon M340.

В даній схемі я відобразив потрібну кількість модулів, блок живлення, найменування датчиків та нумерацію провідників.

Таблиця 3.3.1. 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 3.3.2. 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

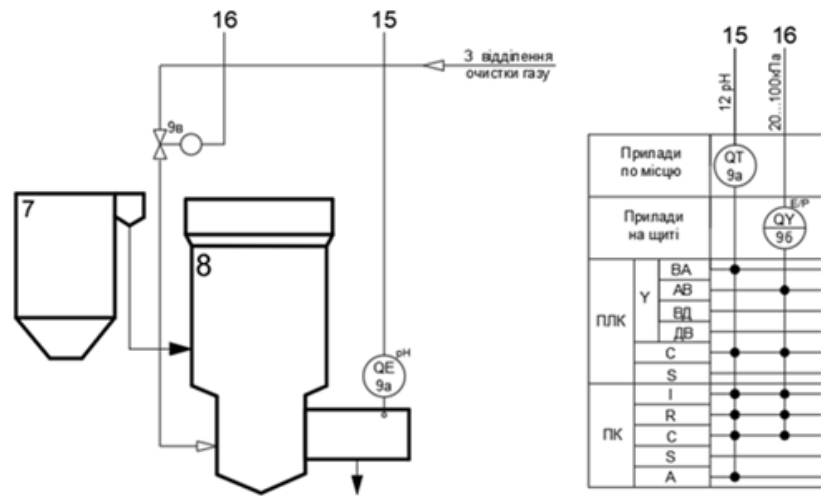


Рис. 3.4.1. Функціональна схема автоматизації контуру регулювання рН соку і сатурації клапаном подачі сатураційного газу

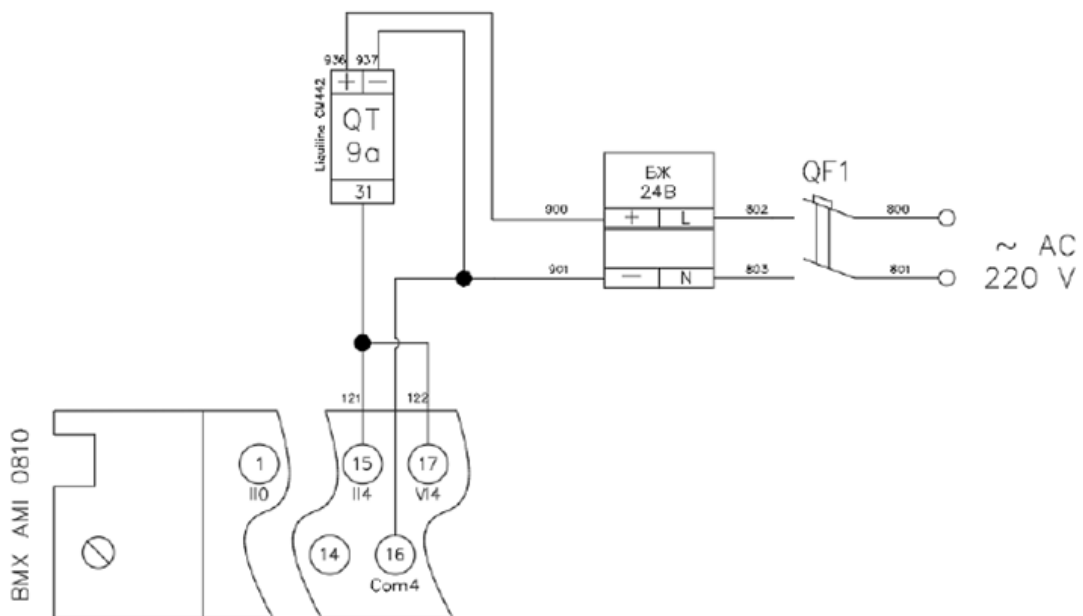


Рис.3.4.2. Розширена схема підключення датчика рН до модуля BMX AMI 0810 ПЛК Schneider Electric M340

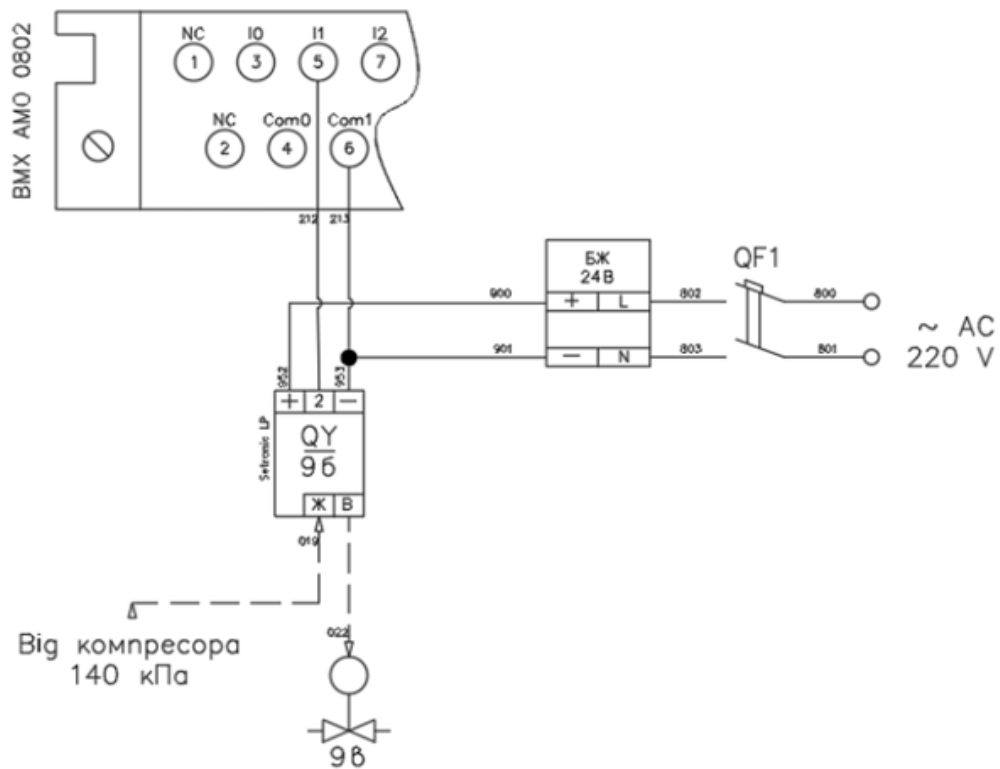


Рис.3.4.3. Розширена схема підключення пневматичного клапана до модуля BMX AMO 0802 ПЛК Schneider Electric M340

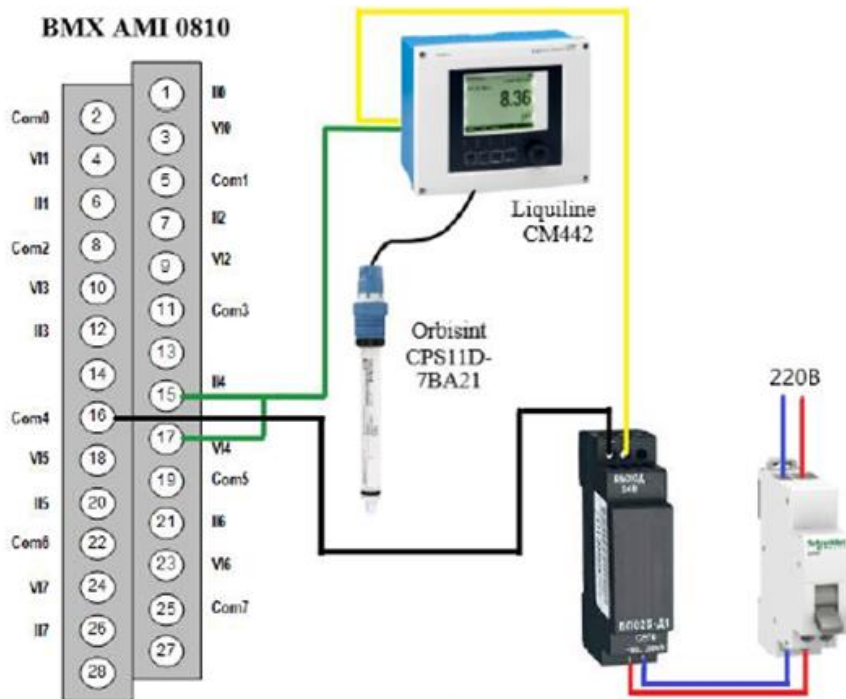


Рис. 3.4.4. Графічна схема підключення Orbisint CPS11D-7BA21 з вторинним вимірювальним перетворювачем Liquiline CM442 до модулів ПЛК Schneider Electric M340

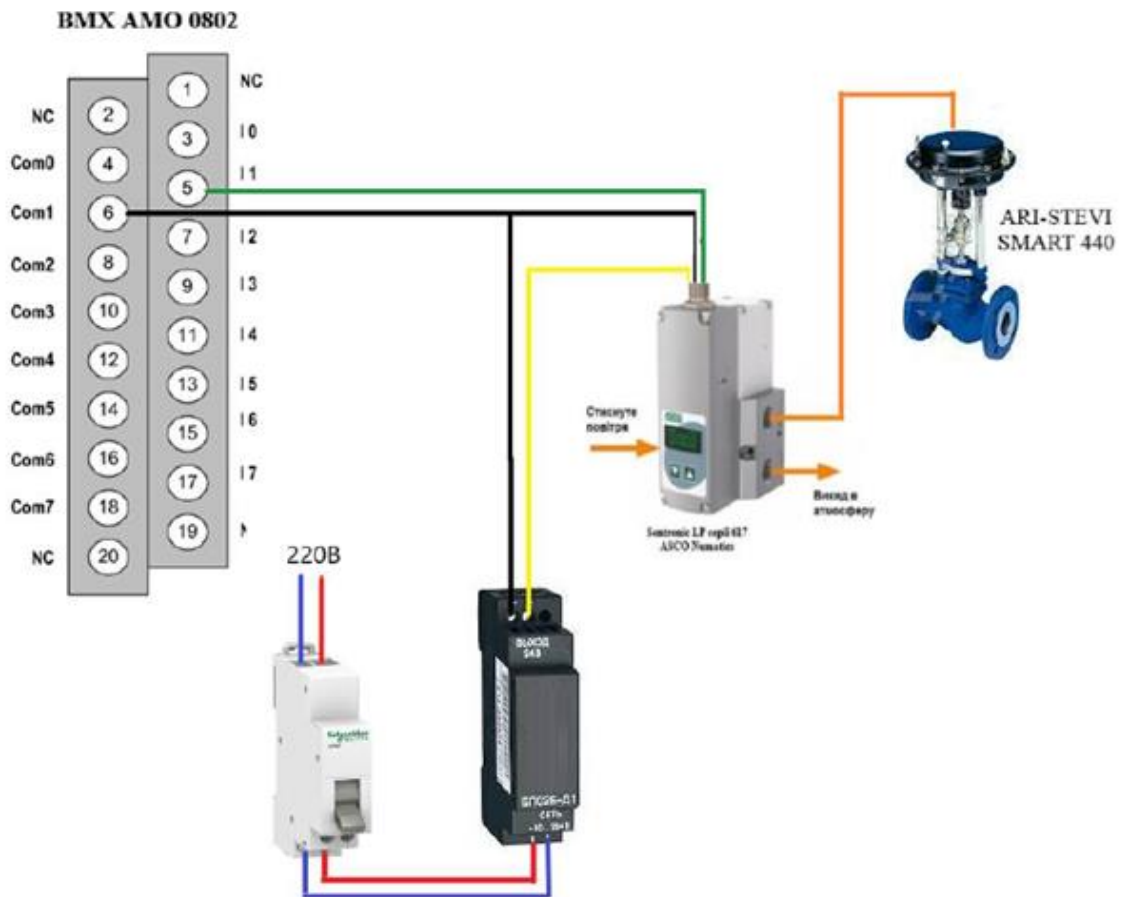


Рис. 3.4.5. Графічна схема підключення пневматичного клапану до ВМХ AMO 0802 ПЛК Schneider Electric M340

3.5. Схема з'єднання та підключення проводок промислових мереж

У кваліфікаційній роботі детально розглядаються схеми з'єднань та підключення проводів для промислових мереж. В даній схемі портівно враховувати багато елементів, щоб схема виглядала коректною та працездатною. Підбір комунікаційних адаптерів, коробки з'єднування, клемні коробки, мережеві кабелі та з'єднувачі мають мати вибраними та мати такий взаємозв'язок, щоб дані миттєво передавалися між рівнями системи, для забезпечення в повній мірі кожного елемента інформаційними даними.

В таблиці 3.5.1 представлений перелік різних найменувань та кількість елементів, які позначені на рисунку 3.5.1, що відображає схему з'єднань проводок промислових мереж.

Таблиця 3.5.1 Перелік елементів до схеми з'єднань

Найменування	К-сть	Примітка
Комунікаційні адаптери та карти		
КК CAT – TSX SCP114 PCMCIA мультипротокольна карта RS-485	1	
КМ ВПП – TWD NOZ 485 T, комунікаційний модуль RS-485 для Twido з підключенням під клемну колодку (PORT2)	1	
Коробки з'єднувальні		
КС2-1 - TSX SCA 50 з вбудованим термінатором	3	
Клемні колодки		
ХТ1 (щит RIO1) з прохідними клемами та 3 контакти	1	
ХТ2,ХТ3 (щит PDS1,PDS2) з прохідними клемами та 3 контакти	2	
Мережні з'єднувачі		
ХS1-7 – неекранованій 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	

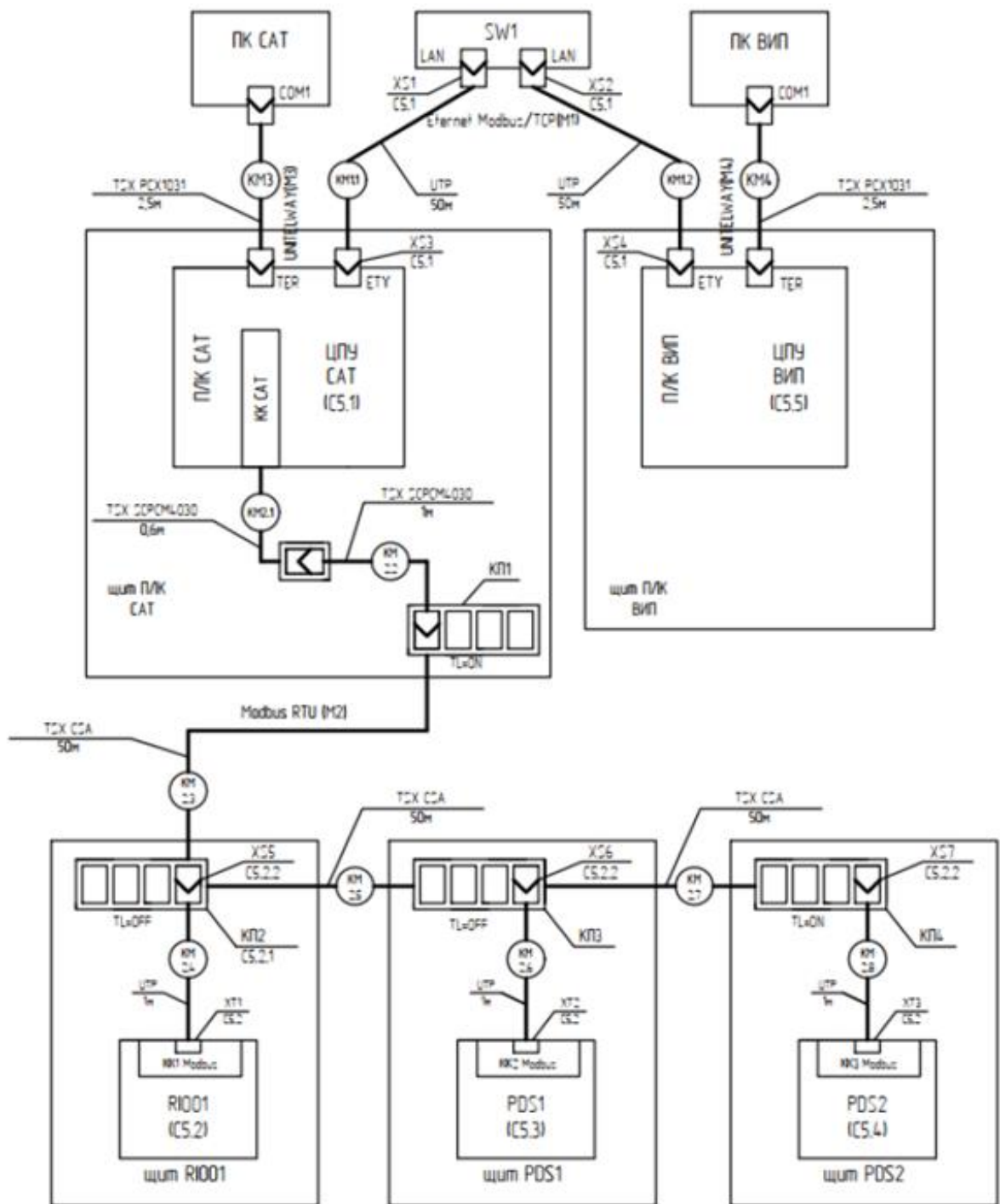


Рис.3.5.1. Схема з'єднання та підключення проводок промислових мереж

3.6. Схема компонування та специфікація модулів ПЛК

Для того, що правильно почати розробляти програму користувача, першочергово потрібно вибрати ПЛК та його потрібні елементи, котріб забезпечували виконання поставленої задачі. Мій вибір впав на інноваційні та потужних контролерах від компанії Schneider Electric. З даними ПЛК я ознайомлений та маю практичні навички їх використання.

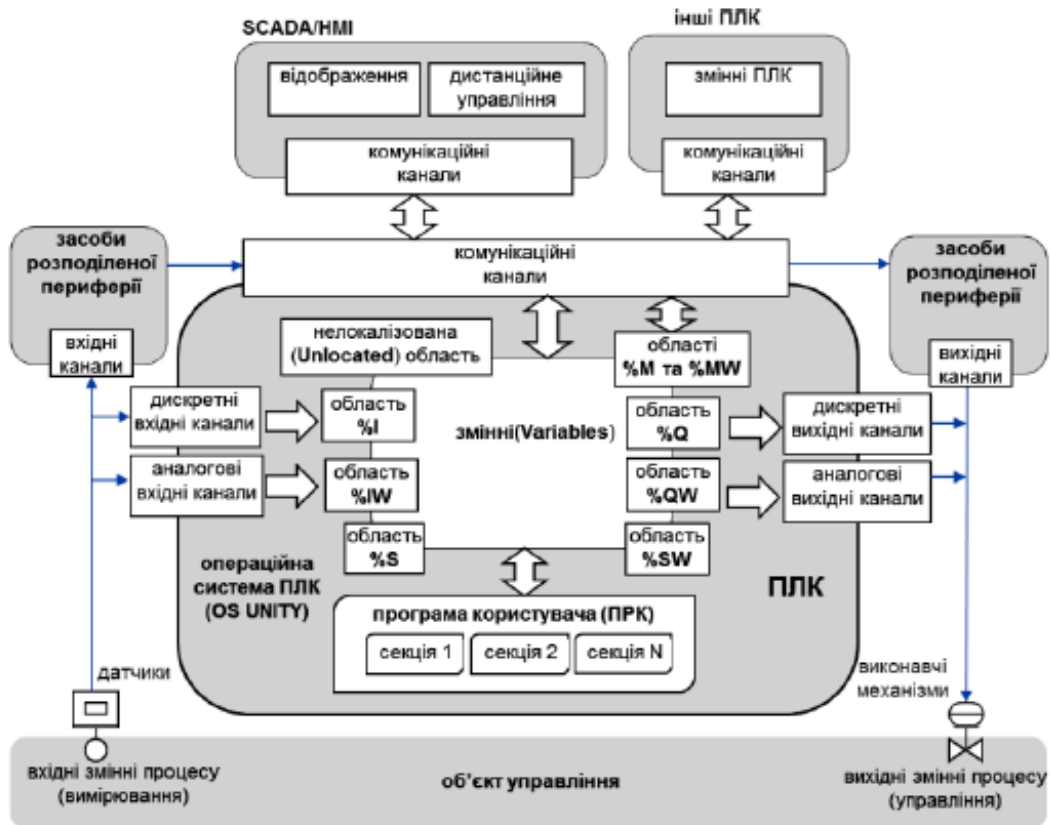


Рис. 3.6.1. Функціональна структура ПЛК

Modicon M340 є частиною екосистеми промислової автоматизації Schneider Electric і може інтегруватися з іншими пристроями та системами виробництва, забезпечуючи ефективне управління та контроль над процесами в реальному часі.

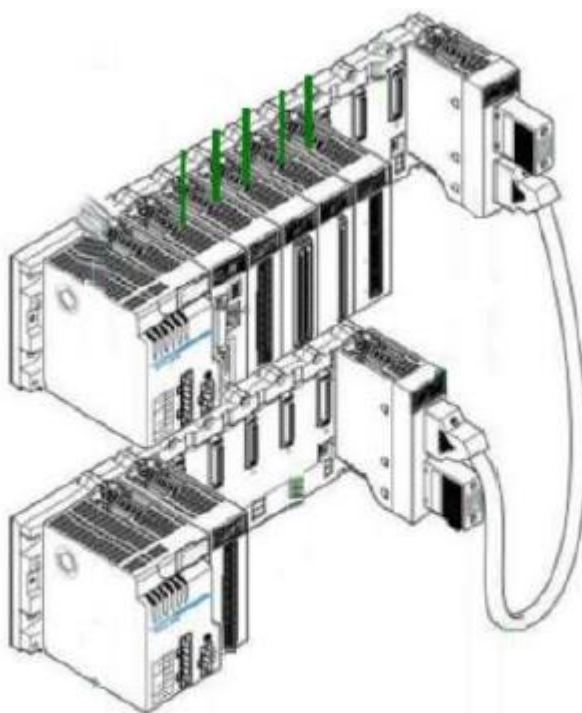


Рис. 3.6.2. Загальна архітектура контролера Modicon M340

Фізична структура контролера Modicon M340 включає наступні складові:

1) Корпус: Контролер зазвичай має металевий або пластиковий корпус, який захищає його внутрішні компоненти від зовнішніх впливів та забезпечує монтаж на DIN-рейку або інші типи кріплення.

2) Центральний процесор (CPU): Це основний обчислювальний блок, який виконує програми та керує внутрішніми та зовнішніми операціями контролера. CPU забезпечує обробку даних, виконання програм та взаємодію з різними модулями.

3) Порти введення/виведення (I/O ports): Модулі введення/виведення дозволяють підключати зовнішні пристрої та сенсори до контролера для обміну даними. Це може включати цифрові входи/виходи, аналогові входи/виходи, а також інші спеціалізовані порти залежно від конфігурації моделі.

4) Комунікаційні порти: Контролер може мати різні комунікаційні порти (наприклад, Ethernet, RS-232, RS-485 тощо), що дозволяють обмінюватися даними з іншими пристроями, контролерами або системами.

5) Інтерфейси для розширення: Версії Modicon M340 мають слоти для розширювальних модулів, які дозволяють розширювати функціональність контролера, додаючи додаткові порти вводу/виводу або підтримку додаткових комунікаційних протоколів.

6) Живлення: Вхід для живлення контролера, який забезпечує електричну енергію для його роботи. Це може бути внутрішній блок живлення або вхід для зовнішнього живлення.

7) Індикатори стану: Світлодіодні індикатори, які показують стан контролера, наприклад, живлення, стан комунікації, стан вводу/виводу тощо.

Ця фізична структура дозволяє контролеру Modicon M340 бути гнучким та розширюваним пристроєм, який може використовуватися для керування широким спектром промислових процесів з використанням різноманітних введення та виведення даних.

Таким чином, тоді коли маємо повне уявлення про кількість та потреби відповідно завданню, вибираємо модулі.

Таблиця 3.6.1. Вибір модулів

Модулі вводу/виводу		Примітка
Найменування	Кількість	
BMX P34-2020	1	Процесор
BMX CPS 2000	1	Блок живлення
BMX NOM 0200	1	Порт BUS MODULE 2 RS485/232
BMX 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 Modicon M340 в програмному забезпеченні EcoStruxure Control Expert (Unity Pro) зазначена нижче.

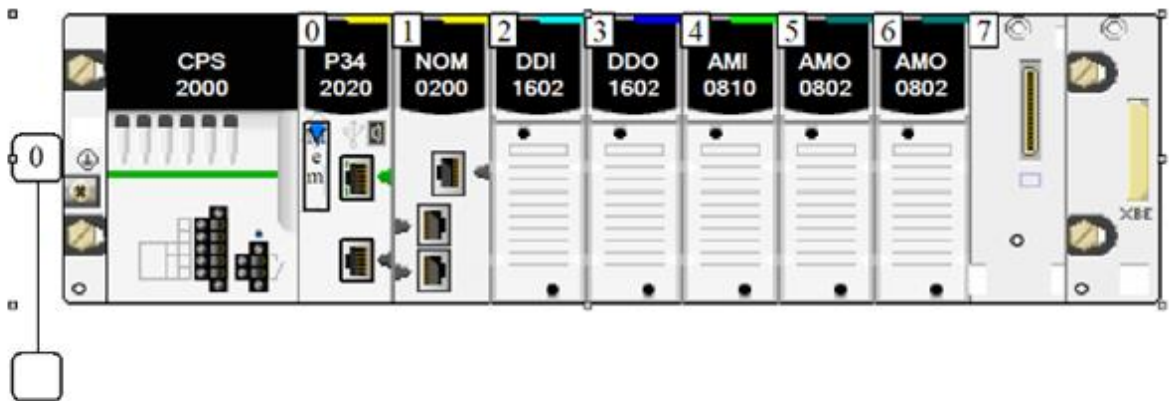


Рис. 3.6.3. Апаратна конфігурація ПЛК M340

Всі мені потрібні модулі живляться через внутрішнє електроживлення через шасі за допомогою модуля BMX CPS 2000. Такий модуль живлення має в собі особливість таку, як аварійне реле, котре розпочинається з 0-го номеру на шасі.



Рис. 3.6.4. Вигляд модуля BMX CPS 2000

Таблиця 3.6.2. Характеристика потужності модуля BMX CPS 2000

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

Потрібну кількість спожитої потужності для обраних мною всіх модулів можна ознайомитися нижче.

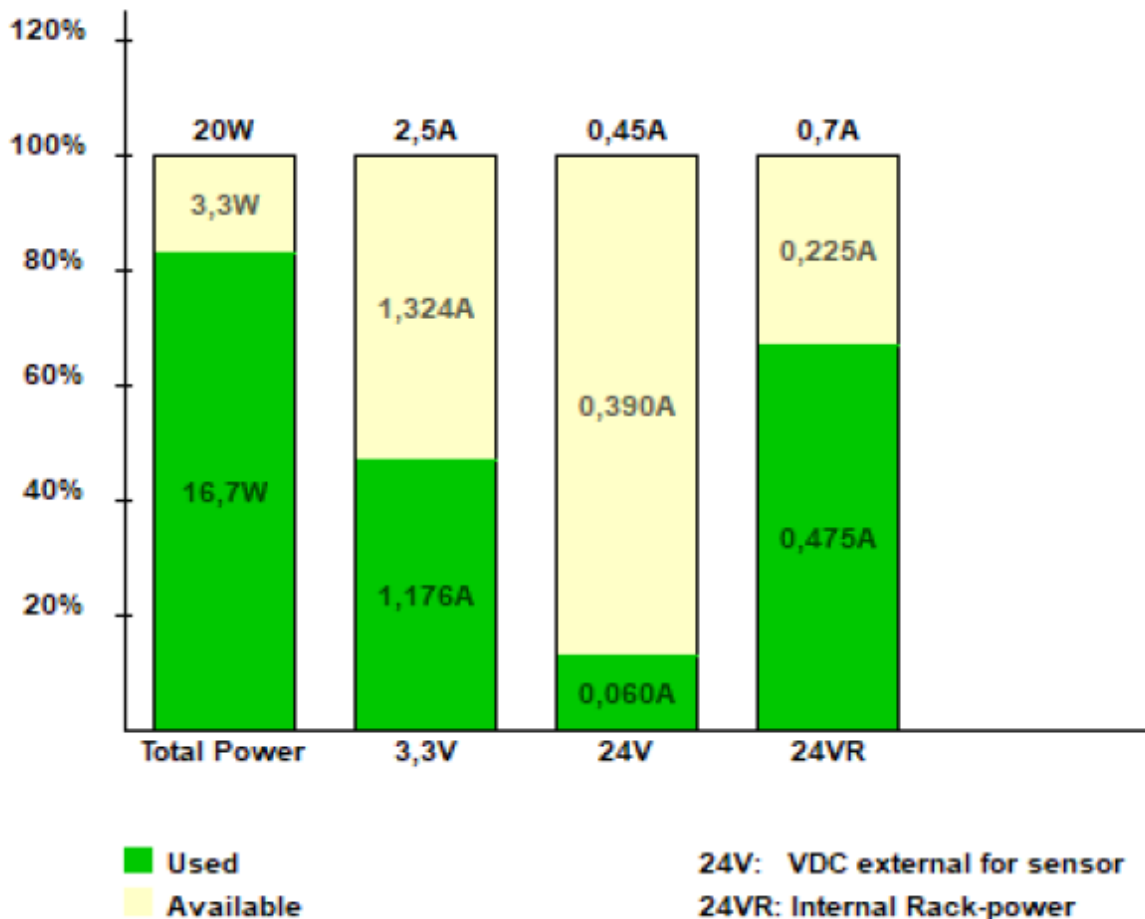


Рис. 3.6.5. Споживча потужність

При підборі процесорного модуля я опирався на функціональні його можливості. Таким чином я зупинився на ВМХ Р34-2020.



Рис. 3.6.6. Вигляд процесорного модуля ВМХ Р34-2020

Таблиця 3.6.3. Характеристика ВМХ Р34-2020

Характеристика		ВМХ Р34-2020
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 %MI	32464
	Локальні внутрішні слова %MWI	32464
	Нелокальні внутрішні змінні	256 Кб
Вбудовані комунікації	Послідовний RS-485/RS-232C	+
	Ethernet TCP/IP	+
	CANOpen	-

Для взаємозв'язку інформацією між головною станцією та суміжними, в конфігурацію контролера я вибрав модуль ВМХ NOM 0200.



Рис. 3.6.7. Вигляд модуля *BMX NOM 0200*

Таблиця 3.6.4. Характеристика *BMX NOM 0200*

Основні характеристики	
Тип продукту	Модуль послідовного каналу
Концепція	Послідовне послання
Тип вбудованих клем	RS232 RJ45 115,2 кбіт/с 8 дротів 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 володіють наступними особливостями та характеристиками:

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 модуля вводу/виводу володіють наступними особливостями та характеристиками:

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)

Для початку виконання роботи я склав блок-схема управління процесом очищення дифузійного соку, котра зазначена нижче.

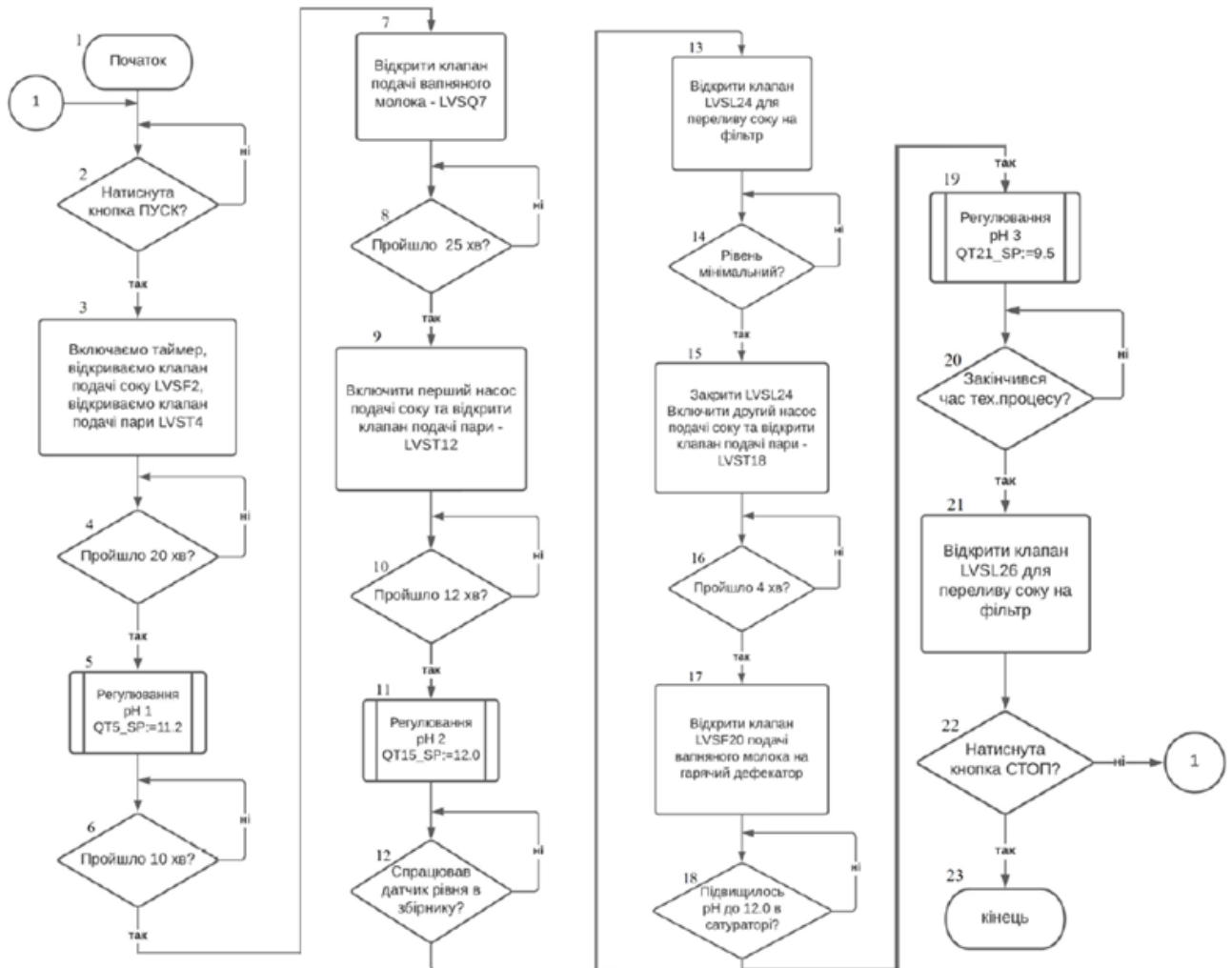


Рис. 4.1.1. Блок-схема управління процесом очищення дифузійного соку

Після цього можна розпочати роботу по вибору ПЛК та його комплектуючих.

В таблиці 4.1.1 зазначена назва та кількість сигналів, під які саме будуть вибиратися модуля.

Таблиці 4.1.1. Назва, кількість сигналів та модуля

Назва	Кількість сигналів	Кількість модулів	Назва модулів
Дискретні вхідні сигнали	8	1	BMX DDI 1602
Дискретні вихідні сигнали	5	1	BMX DDO 1602
Аналогові вхідні сигнали	7	1	BMX AMI 0810
Аналогові вихідні сигнали	9	2	BMX AMO 0802

Схема компонування мікропроцесорного контролера зображена на рисунку 4.1.2.

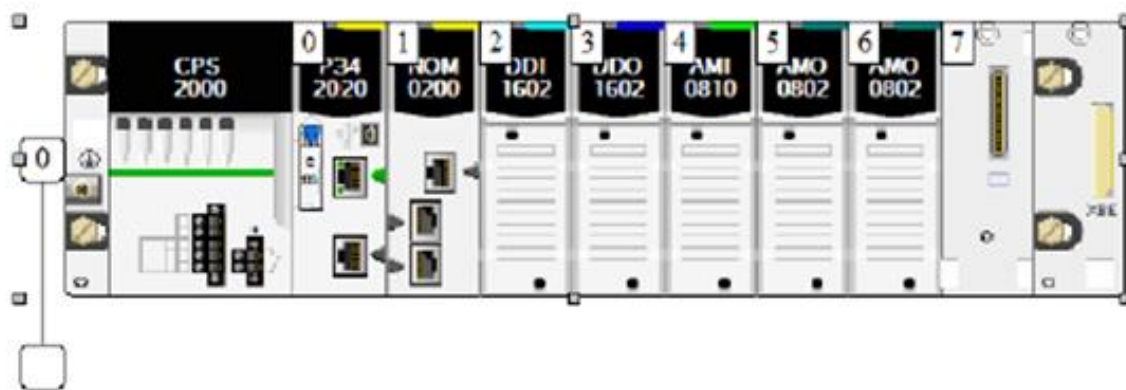


Рис. 4.1.2. Апаратна конфігурація Modicon M340

Таким чином з апаратної конфігурації, котра зазначена вище можна зробити загальну змістовну специфікацію засобів автоматизації. Детальний перелік якої можна переглянути в таблиці 4.1.2.

Таблиця 4.1.2. Специфікація засобів автоматизації для ПЛК

Поз.	Найменування та технічні характеристики засобу	Тим, марка, позначення документа, листа опитування	Завод – виготовлювач / виробник	Одиниці виміру	Кількість
1.	Шасі X80 з Xbus шиною на 8 посадочних місць	BMX XBP 0800	Schneider Electric , Франція	шт.	1
2.	Модуль ЦПУ	BMX P34 2020	Schneider Electric , Франція	шт.	1
3.	Модуль живлення 100...240 VAC, 20Вт	BMX CPS 2000	Schneider Electric , Франція	шт.	1
4.	Порт BUS MODULE 2 RS485/232.	BMX NOM 0200	Schneider Electric , Франція	шт.	1
5.	Модуль на 16 дискретних входів	BMX DDI 1602	Schneider Electric , Франція	шт.	1
6.	Модуль на 16 дискретних виходів	BMX DDO 1602	Schneider Electric , Франція	шт.	1
7.	Модуль на 8 аналогових входів	BMX AMI 0810	Schneider Electric , Франція	шт.	1
8.	Модуль на 8 аналогових виходів	BMX AMO 0802	Schneider Electric , Франція	шт.	2
9.	20 контактна з'ємна колодка з гвинтовими зажимами	BMX FTB 2010	Schneider Electric , Франція	шт.	5

На основі цих даних та відкривши програмне забезпечення EcoStruxure Control Expert створюються змінні вводу та змінні виводу.

● 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. 4.1.3. 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.4.1.4. Перелік дискретних/аналогових змінних виводу в EcoStructure Control Expert

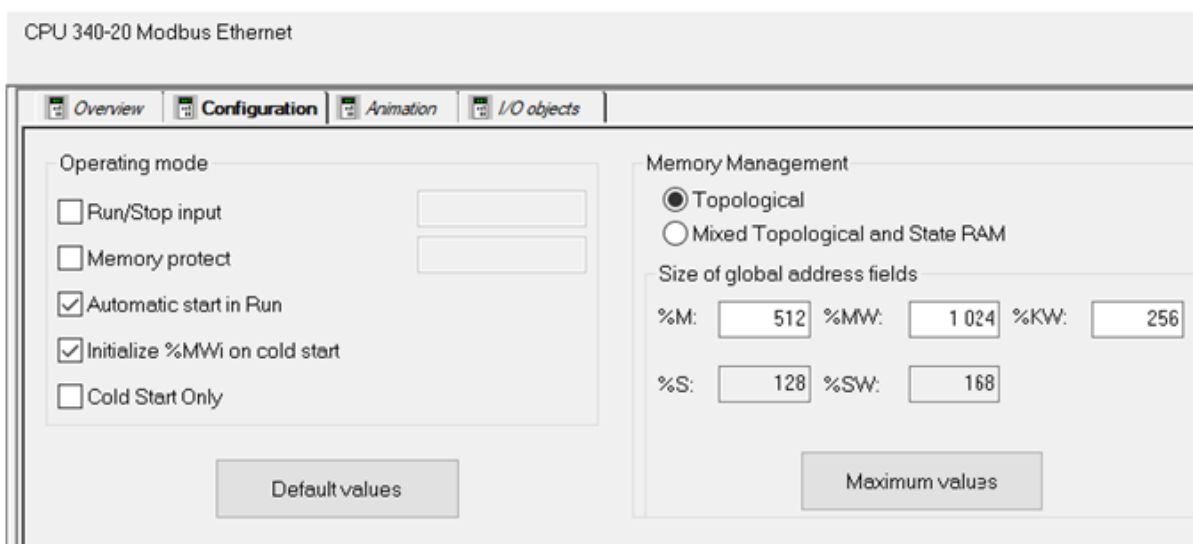


Рис. 4.1.5. Конфігурування процесорного модуля

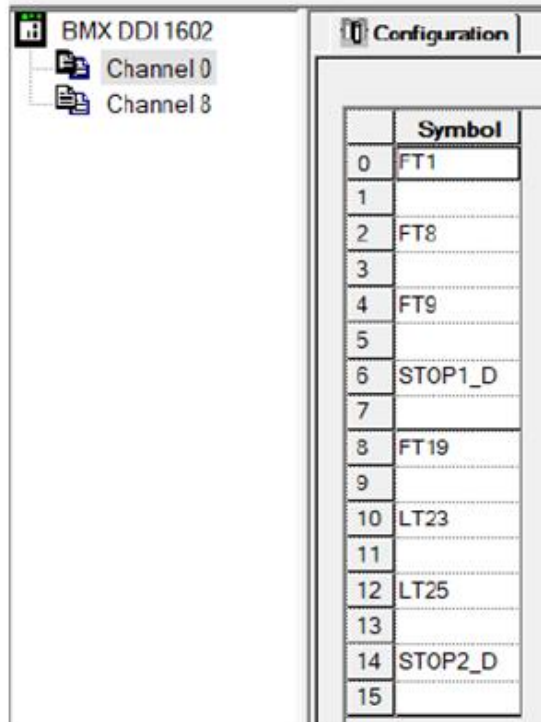


Рис. 4.1.6. Конфігурування модуля BMX DDI 1602

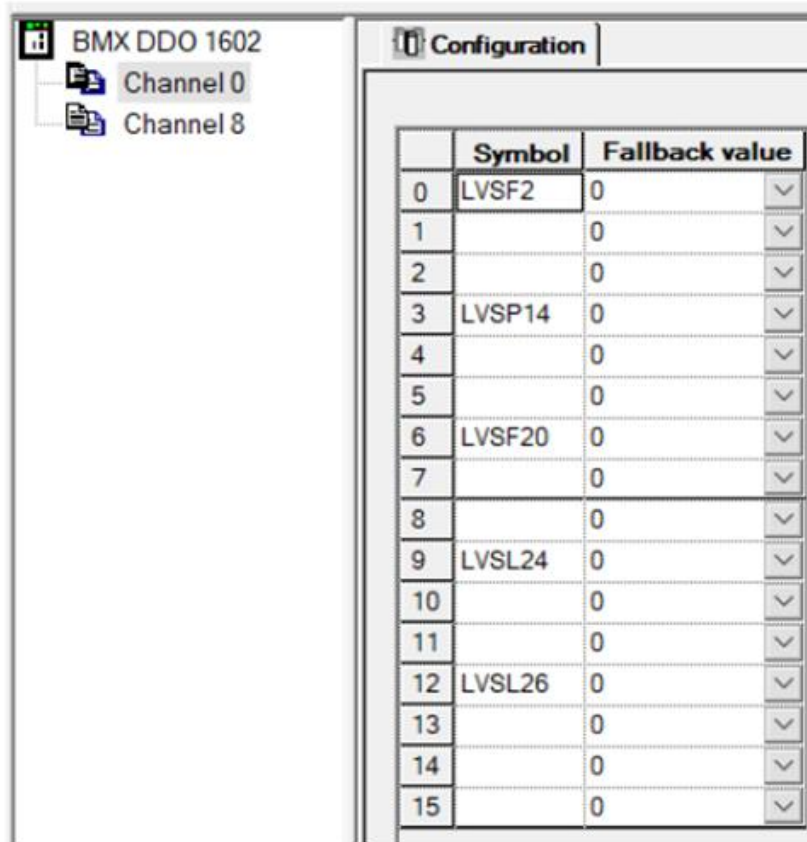


Рис. 4.1.7. Конфігурування модуля BMX DDO 1602

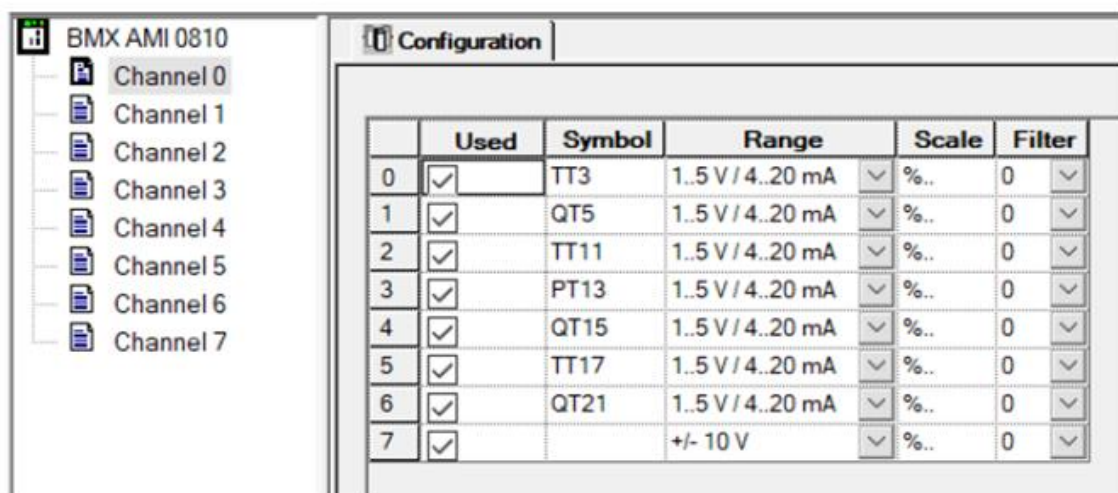


Рис. 4.1.8. Конфігурування модуля BMX AMI 0810

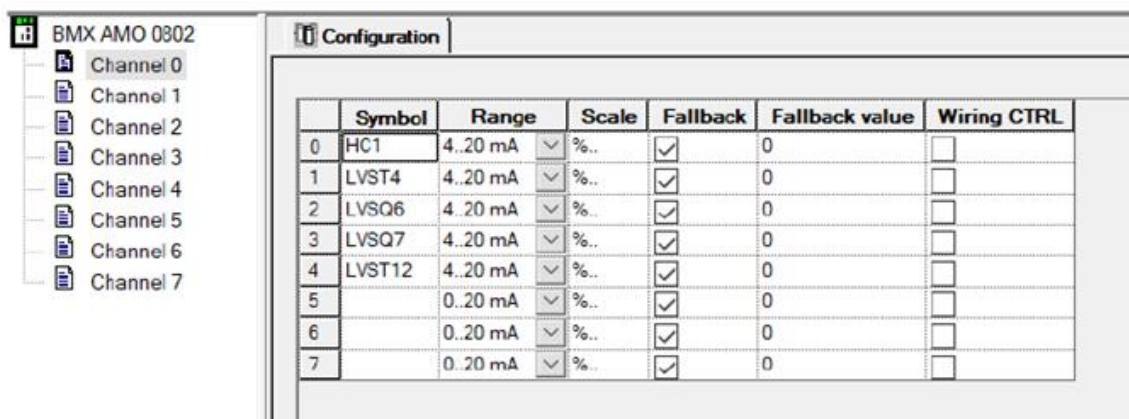


Рис. 4.1.9. Конфігурування модуля BMX AMO 0802

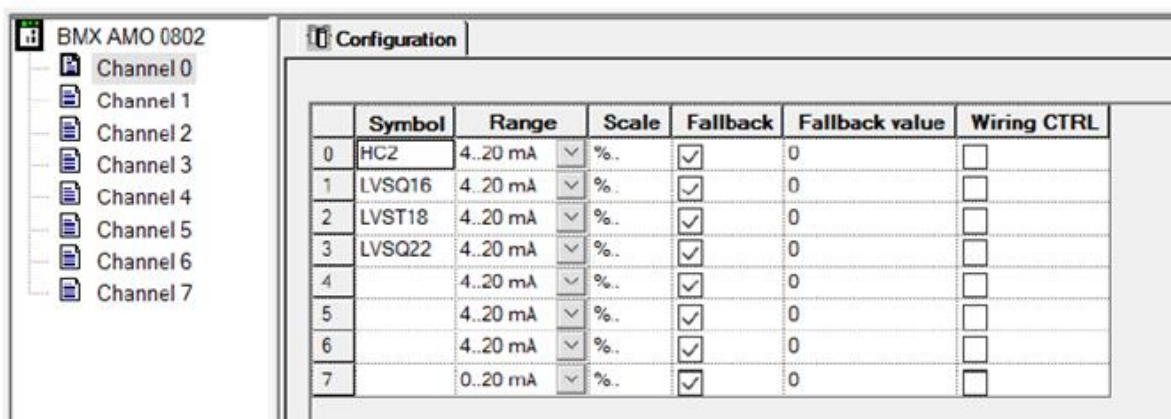


Рис. 4.1.10. Конфігурування модуля BMX AMO 0802

Для того, щоб все правильно працювало потрібно всі змінні вивести до одного типу.

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. 4.1.11. Технічні змінні в EcoStructure Control Expert

Наступним кроком потрібно проробити роботу з масштабуванням та перетворенням входів та виходів.

На рисунку 4.1.12. зображена секція «INPUTS» в якій відтворено масштабування входних аналогових змінних в результаті застосування вбудованого в програму функціонального блоку "SCALING".

```
(*масштабування датчиків*)

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

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

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

Рис. 4.1.12. Масштабування входних аналогових сигналів

Процес масштабування за допомогою SCALING потребує налагодження через змінну 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. 4.1.13. Налаштування PARA_SCALE відповідно завданню

```

(*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%(4-20МА)-> 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. 4.1.14. Масштабування вихідних дискретних/аналогових сигналів

Виконання роботи по контуру, котрий забезпечує регулювання рН соку в апаратах, а саме в переддефекаторі, I та II сатураторах виконана на простій для мене мові – мові Structured text .

```

TC1_QT5 (t#1s, 0); (*генератор імпульсів 1с*)
  TC1 (EN := TC1_QT5.Q, (*викликати раз в секунду*)
    PV := QT5_M, (*дійсне масштабоване 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 масштабоване 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 масштабоване 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. 4.1.15. 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	#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	#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	#5s		Integral time
dband	REAL	0.1		Dead zone on deviat...
outbias	REAL			Manual adjustment of...

Рис. 4.1.16. Змінні для контуру регулювання рН соку в переддефекаторі, I та II сатураторах

```

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. 4.1.17. 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. 4.1.18. 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. 4.1.19. Реалізація програми користувача

Для правильної роботи потрібно розробити та налаштувати параметри регуляторів, котрі визначені по завданню. Для цього я використав функціональний блок LAG_FILTER, котрий можна застосовувати як аперіодичну ланку.

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

if %M101 then

(*Імітація витрати дифузійного соку на переддефектор*)
if LVSF2_M and %M101 then
    FT1_M:= FT1_M + 0.07517743;
end_if;
(*Імітація витрати вапняного молока на переддефектор*)
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 II сатурацією*)
if LVSF20_M AND %M101 then
    FT19_M:= FT19_M + 0.00250001;
end_if;

end_if;

(*Імітація температури перед переддефектором*)

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. 4.1.20. 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;

```

Активация Windows

Рис. 4.1.12. Імітація змінних

```

(*Імітація рН соку в переддефекаторі*)
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. 4.1.22. Імітація рН соку за рахунок функціонального блоку LAG_FILTER

Наступним кроком я реалізувала роботу автоматичного і ручного режимів для двигунів, котрі в мене в проєкті присутні, та 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;

```

Активация Windows

Рис. 4.1. 23. Реалізація кнопок аварійної зупинки двигунів і авто/руч режиму роботи двигунів

Для перевірки правильності підібраних параметрів регулятора та коректної роботи системи було створено сторінку, котра графічно відображає та охарактеризовує стан регульованого параметру рН соку та відповідними виконавчими механізмами для його керування.

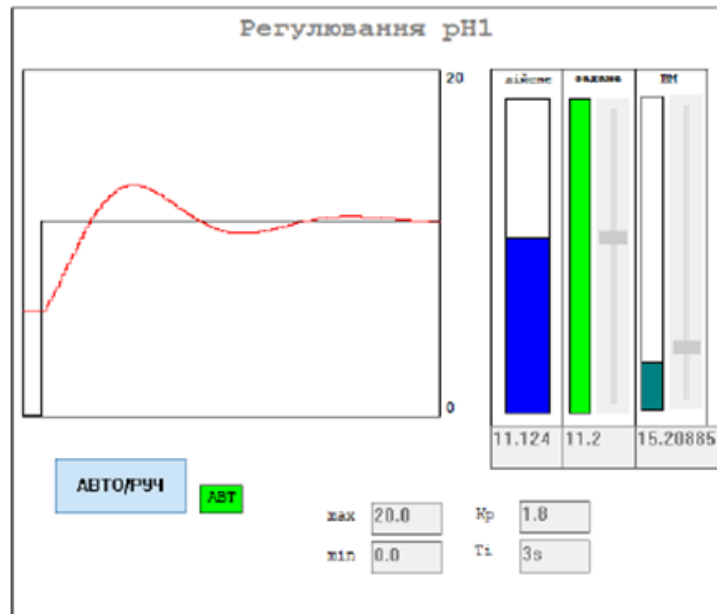


Рис. 4.1.24. Перевірка роботи контуру регулювання рН соку в переддефекторі

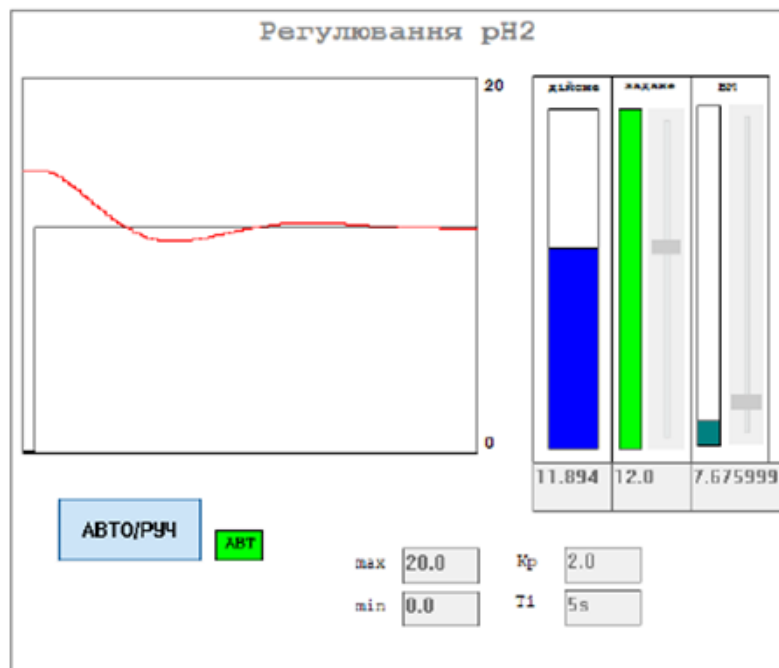


Рис. 4.1.25. Перевірка роботи контуру регулювання рН соку в І сатураторі

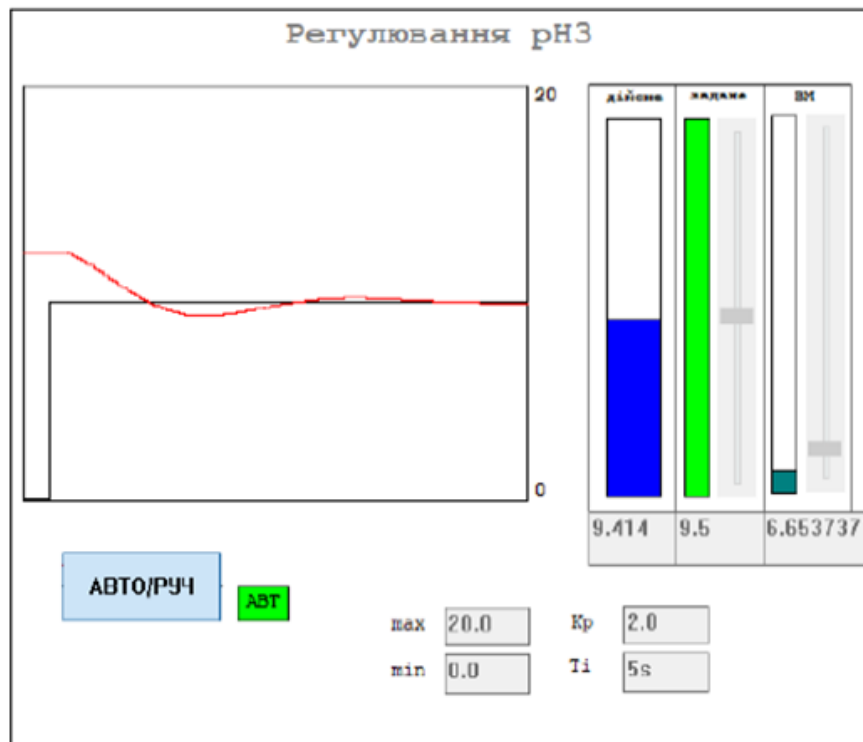


Рис. 4.1.26. Перевірка роботи контуру регулювання рН соку в II сатураторі

4.2. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога

Розробка людино-машинного інтерфейсу (Human-Machine Interface, HMI) для оператора технолога - це процес створення інтерфейсу, який дозволяє оператору взаємодіяти з різними аспектами технологічного процесу або системою управління. Основна мета HMI полягає в тому, щоб забезпечити операторові доступ до важливої інформації та управління процесами у зручній і ефективній формі.

Деякі критичні аспекти розробки HMI для оператора технолога включають:

- 1) **Інтуїтивність і простота використання:** HMI повинен бути легким для засвоєння і використання оператором. Він повинен мати інтуїтивний інтерфейс, логічну організацію елементів управління та простість взаємодії.
- 2) **Візуалізація даних:** HMI повинен забезпечувати яскраву, зрозумілу та легко візуалізовану інформацію про стан процесів або обладнання. Графіки, діаграми, числові дані та інші візуальні елементи можуть бути використані для цього.
- 3) **Функціональність:** HMI повинен мати всі необхідні функції для контролю та управління процесами. Це може включати кнопки управління, сигналізацію, можливість зміни параметрів та регулювання режимів роботи.
- 4) **Адапбельність до змін:** HMI повинен бути гнучким для внесення змін у відповідь на нові вимоги або вдосконалення процесів.
- 5) **Безпека:** Забезпечення безпеки при взаємодії з системою - це ключовий аспект. Захист від помилкових дій або втручання в автоматичні процеси важливий для запобігання аварій та неправильного функціонування системи.
- 6) **Доступність даних:** HMI повинен забезпечувати доступність важливої інформації, такої як стан обладнання, параметри процесів, журнали подій тощо.

Розробка HMI - це складний процес, який вимагає ретельного аналізу потреб користувачів, розробки дизайну інтерфейсу, програмування та тестування для забезпечення оптимальної ефективності та комфорту в роботі оператора

ТЕХНОЛОГА.

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	Ф	Нес	Необработ	Мин.	Макс. ана	С	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	%M5	###.#						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. 4.2.1. Змінні теги

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 макс: 150

Мин. значение в единицах из: 0

Макс. значение в единицах из: 150

Пользовательский

Польз. 1

Рис.4.2.2 Налаштування змінних тегів

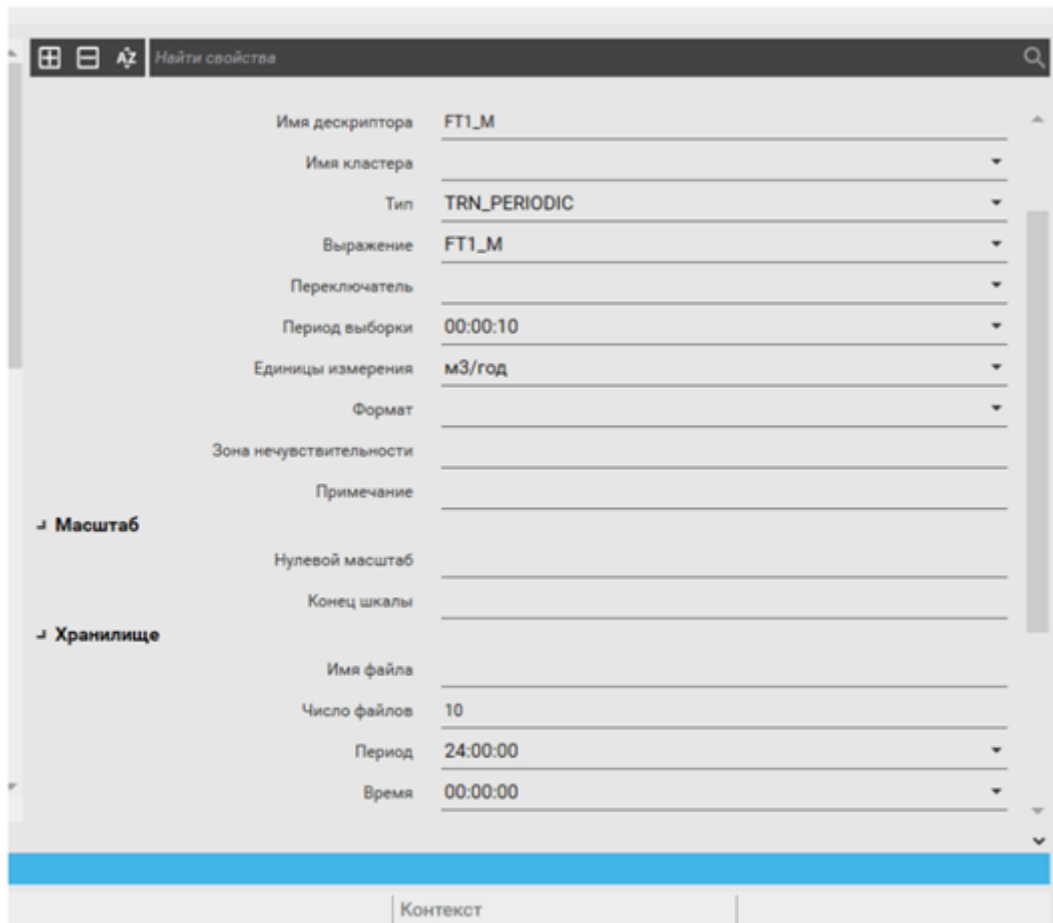


Рис. 4.2.3. Налаштування трендів

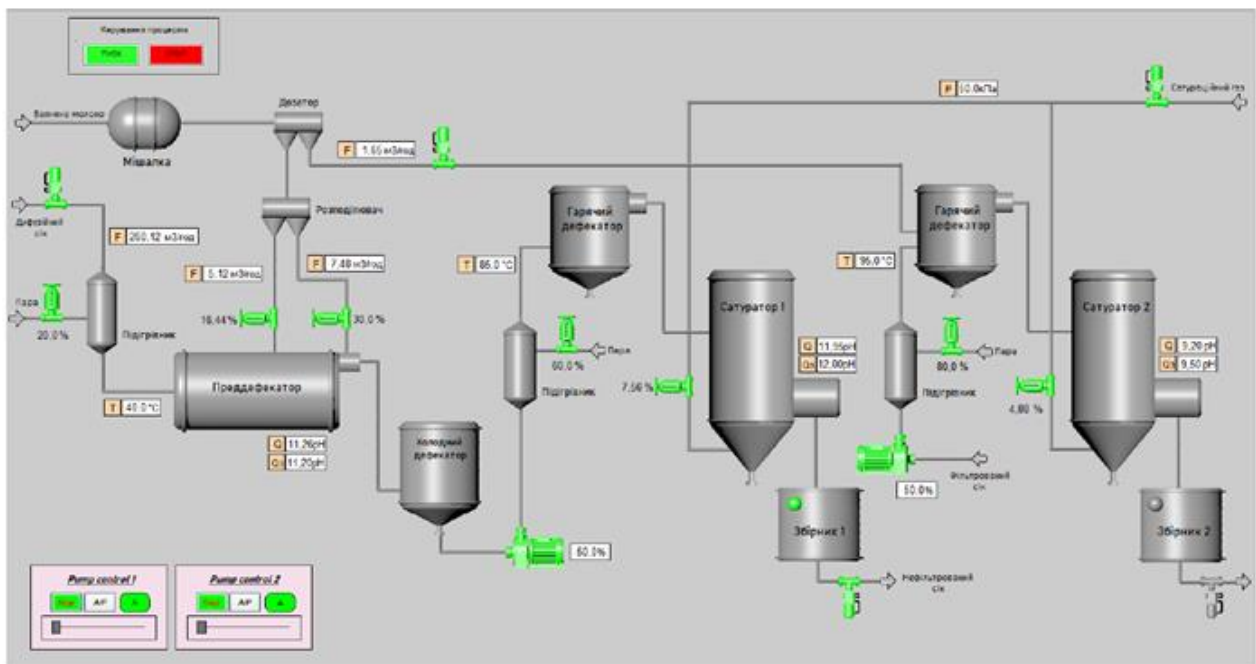
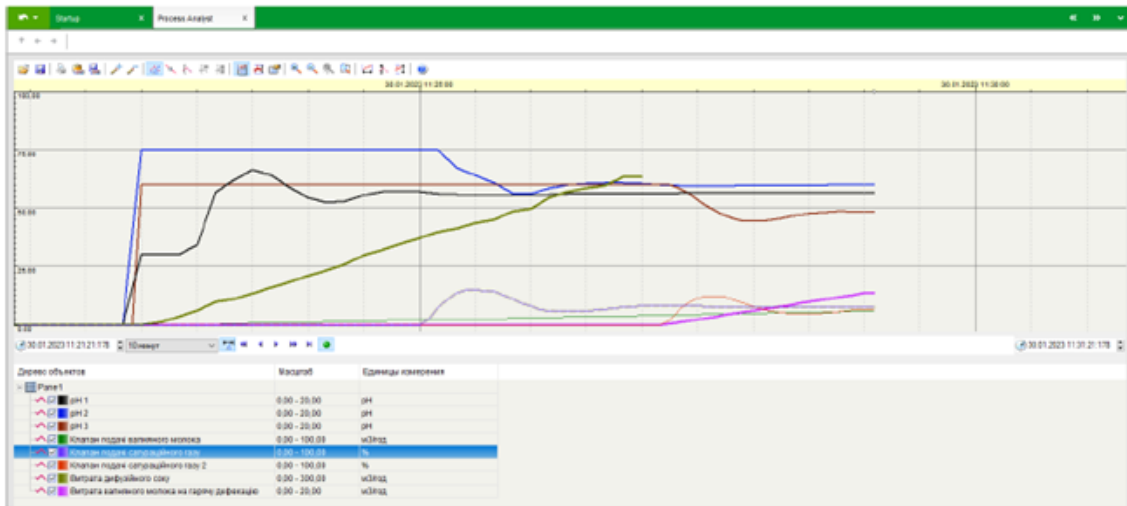


Рис. 4.2.4. Відеокадри роботи SCADA-системи



Panel1	Масштаб	Єдиниці 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.4.2.5. Вікно трендів

Active Alarms

Citect SCADA

04.01.2024	10:52:00	Ivs1	Не відкрився клапан подачі дифузійного соку	ВКЛ.
04.01.2024	10:52:00	TE	Низька температура підігріву соку	ВКЛ.
04.01.2024	10:51:26	Avaria_D2	Аварійна зупинка двигуна насосу 2	ВКЛ.

Дата	Время	Дескриптор	Имя	Состояние
04.01.2024	10:52:00	Ivs1	Не відкрився клапан подачі дифузійного соку	ВКЛ.
04.01.2024	10:52:00	TE	Низька температура підігріву соку	ВКЛ.
04.01.2024	10:51:26	Avaria_D2	Аварійна зупинка двигуна насосу 2	ВКЛ.
04.01.2024	10:50:53	Avaria_D	Аварійна зупинка двигуна насосу 1	ВКЛ.

Рис. 4.2.6. Вікно тривоги

4.3. Комп'ютерне моделювання системи автоматичного регулювання

Для комп'ютерного моделювання системи автоматичного регулювання я обрав контур, який включає в себе переддефектор, та спирався на параметр регулювання рН, котрий, на мою думку, являється ключовим і від якого залежить подальні фізико-хімічні показники очищеного соку.

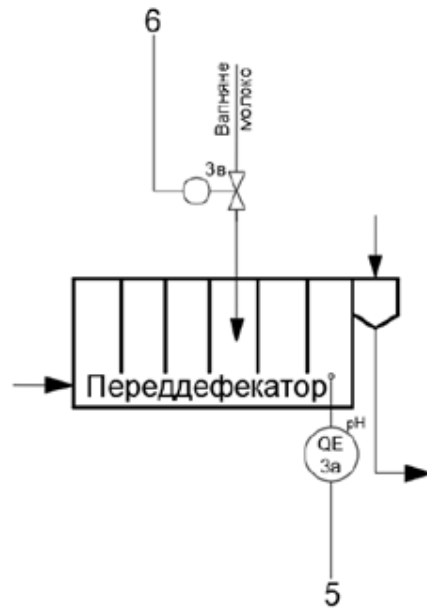


Рис. 4.3.1. Контур регулювання рН соку в переддефекторі

Для правильного моделювання на самперед потрібно визначитися з елементами, котрі включає в себе параметрична схема кортуру регулювання рН соку в переддефекторі.

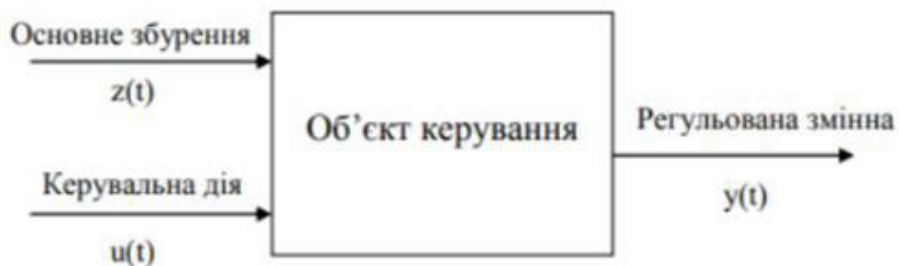


Рис. 4.3.2. Параметрична схема об'єкта

В таблиці 4.3.1 наведені основні параметри вибраного об'єкта.

Таблиця 4.3.1. Елементи параметричної схеми

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

Після цього в програмному забезпеченні Simulink за умов застосування знайомих мені прикладних програм Matlab я сформував структурну схему, котра б повністю відповідала кортуру регулювання рН соку в переддефекторі.

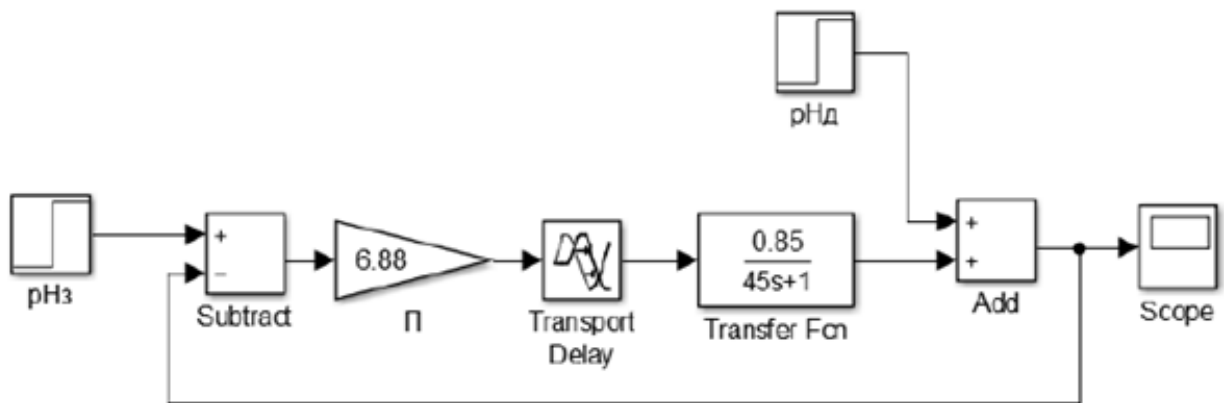


Рис. 4.3.3. Структурна схема з П-регулятором

Підібравши відповідні ланки та їх параметри і запусивши на виконання я отримав ось такий перехідний процес, котрий показує, що саме ось такі цифрові значення параметрів, а саме $k_{кр} = 6.88$ і $T_{кр} = 20$, забезпечують автоколивання системи.

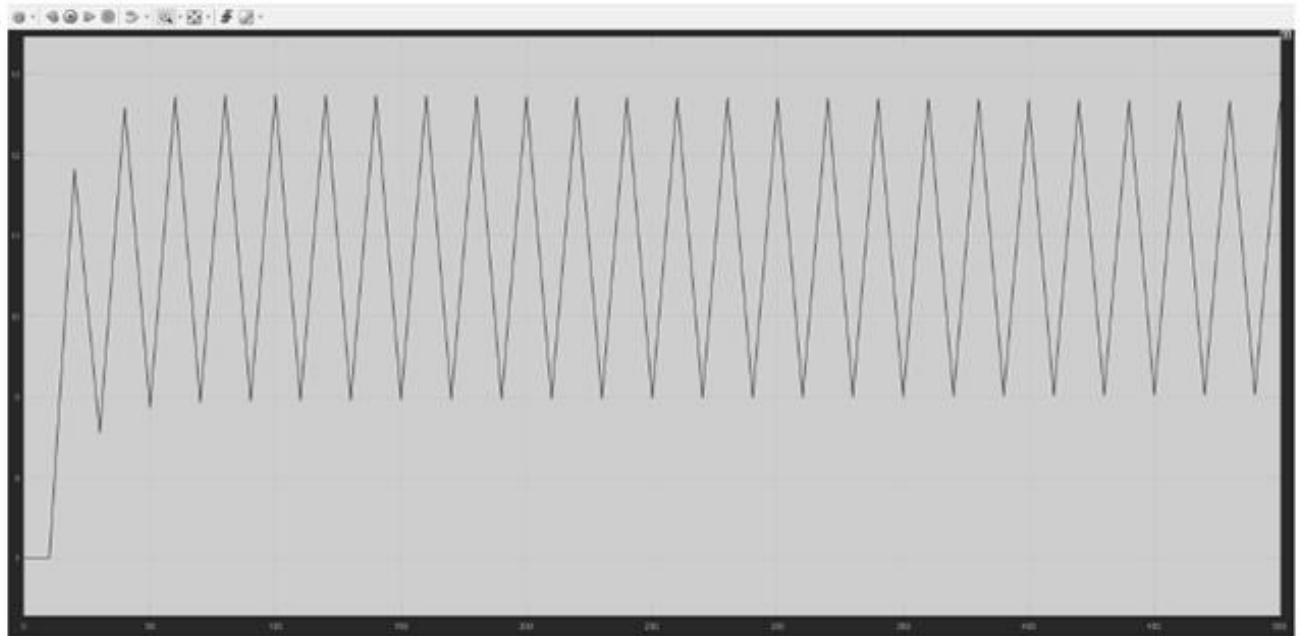


Рис.4.3.4. Перехідний процес з застосуванням П-регулятора

Вище стовену структурну схему я переробив, для того щоб виконати умову , котра полягає в тому, щоб дана система виходила на задане нами значення. Для цього я використав закон, котрий працює за пропорційно-інтегрально методом регулювання. Параметри регулювання якого я визначив за алгоритмом Ziegler–Nichols.

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

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

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

Перероблена схема наведена на рисунку 4.3.5.

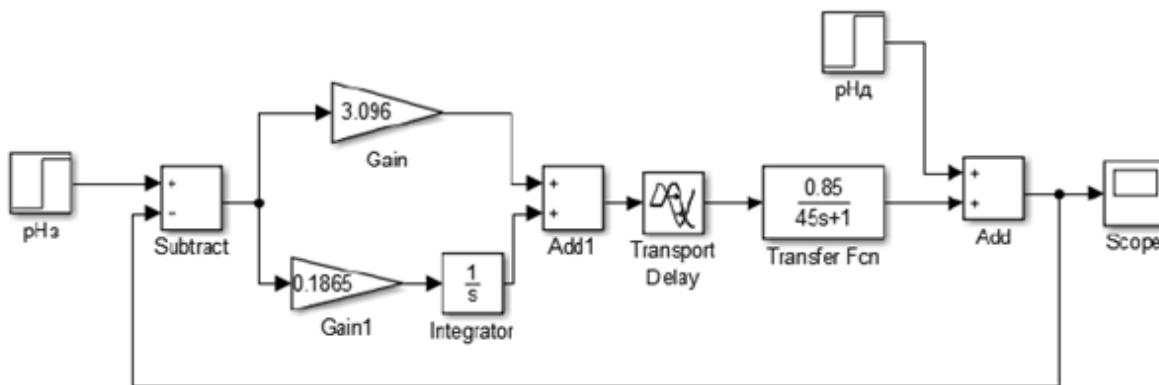


Рис. 4.3.5. Структурна схема САР з ПІ-регулятором

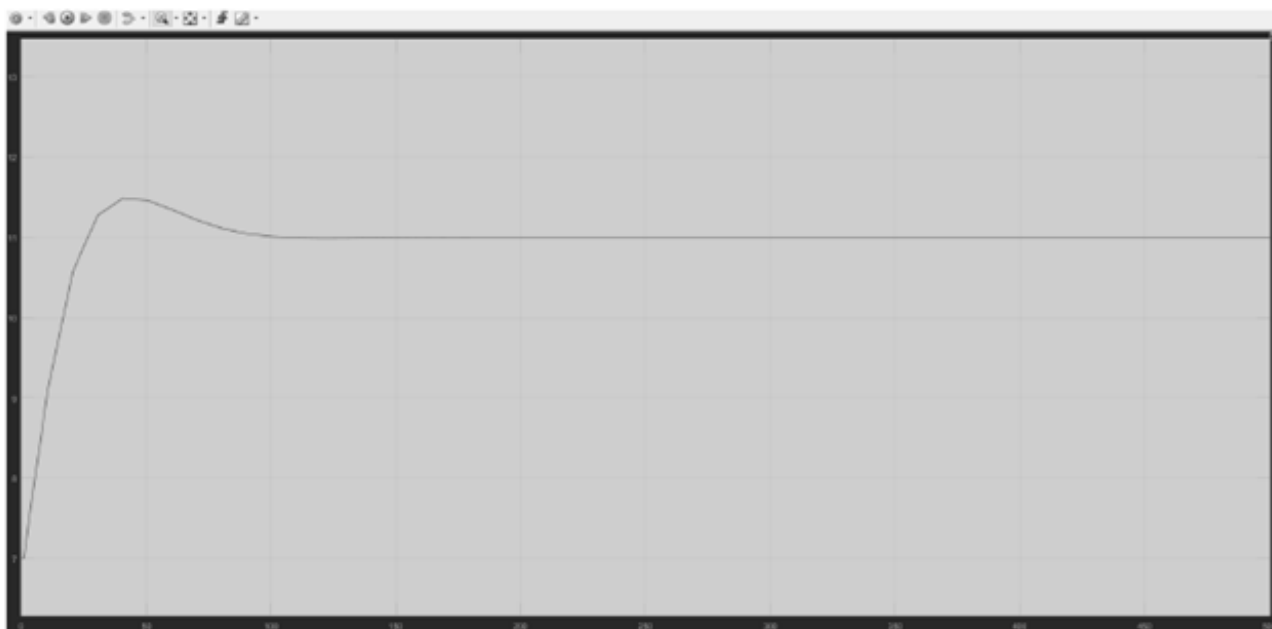


Рис. 4.3.6 Перехідний процес з застосуванням ПІ-регулятора

Таким чином, наглядно можна спостерігати, що ПІ-регулятор краще виконує свої функції регулювання рН соку в переддефекторі.

Але я продовжив дослідження далі і тепер буде представлено порівняння попередніх регуляторів з нововивченим мною нечітким регулятором.

Для початку вионання роботи я обрав алгоритм по якому буде працювати регулятор, а саме – алгоритмом Sugeno.

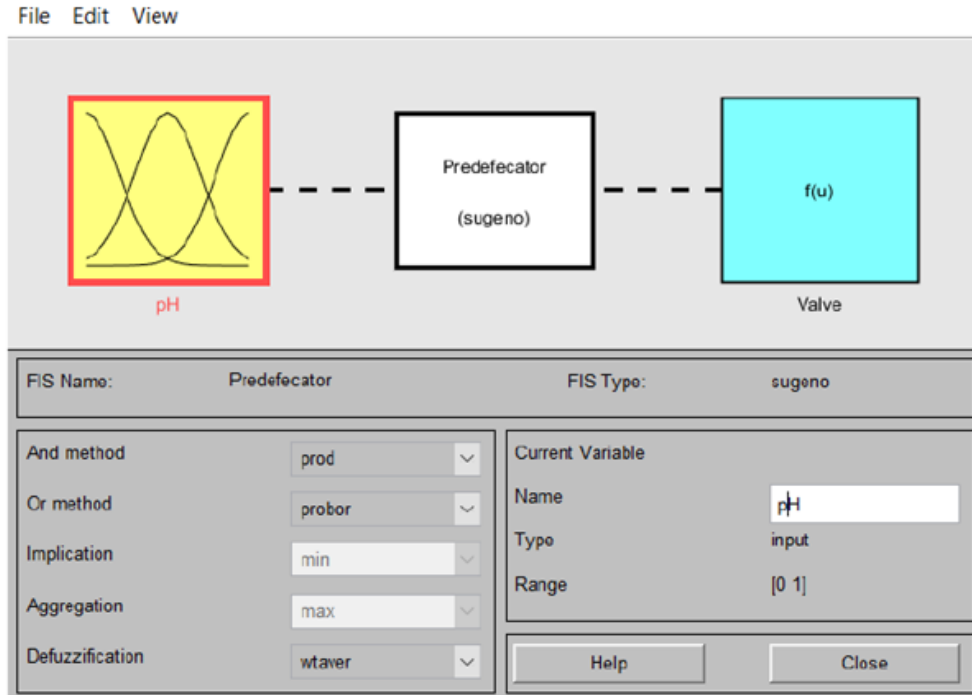


Рис. 4.3.7 Вікно редактора FIS-Editor

Розробивши саме так регулятор потрібно було дотримуватися умовних правил таких як: вхід регулятора має відповідає різниця заданого та дійсного цифрового значення рН соку в апараті, а вихід має відповідати більшому або меншому ступінь відкриття чи закриття виконавчого механізму, який відповідає за функцію подачі вапняне молоко в четвертий корпус переддефекатора.

В таблиці 4.3.2 наведена назва та параметри функцій належності.

Таблиця 4.3.2. Назва та параметри функцій належності

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

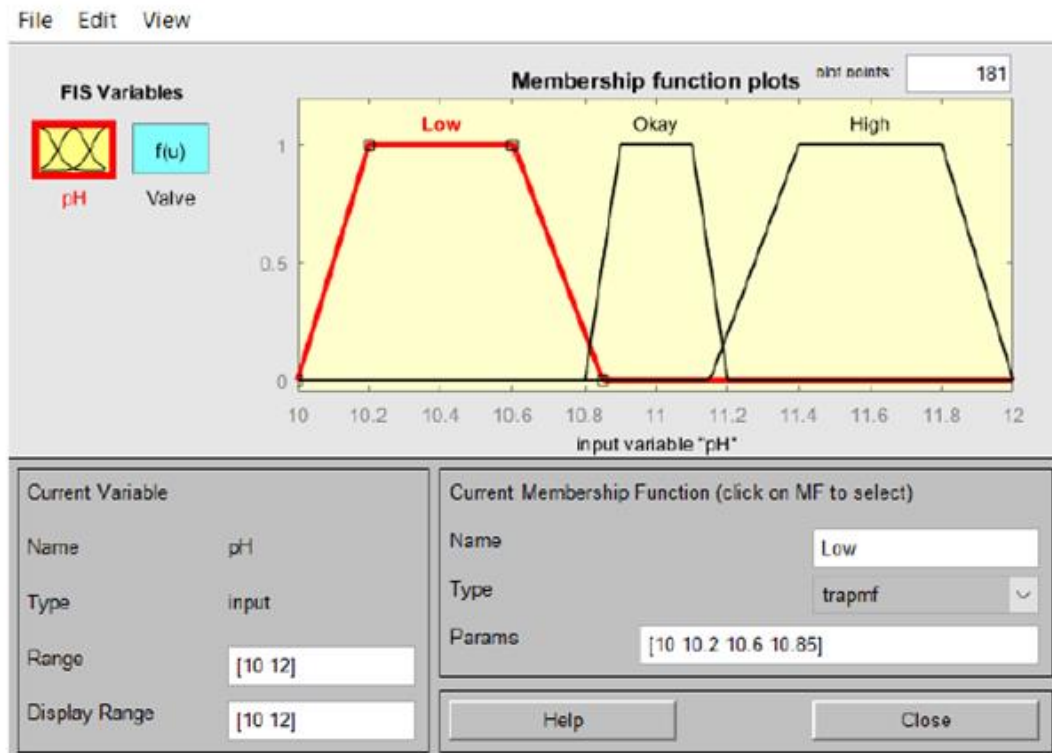


Рис.4.3.8. Функція належності «Low»



Рис.4.3.9. Функція належності «Okay»

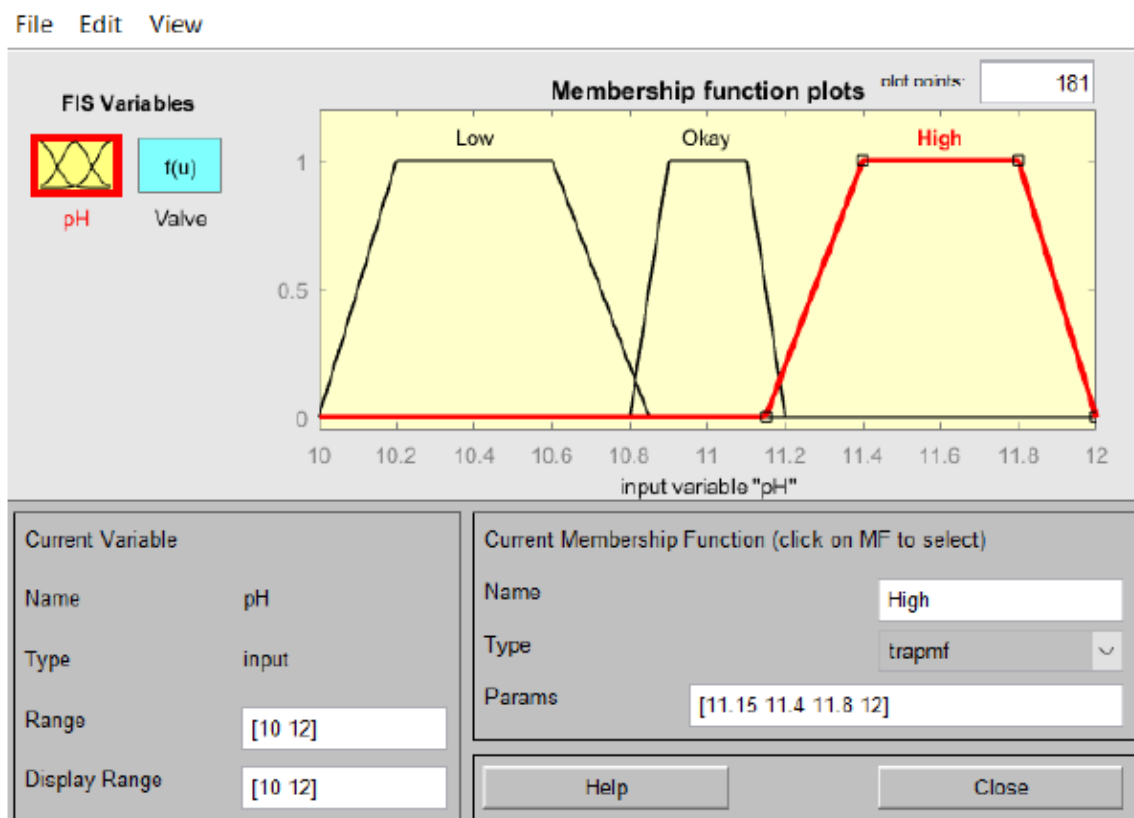


Рис.4.3.10. Функція належності «High»

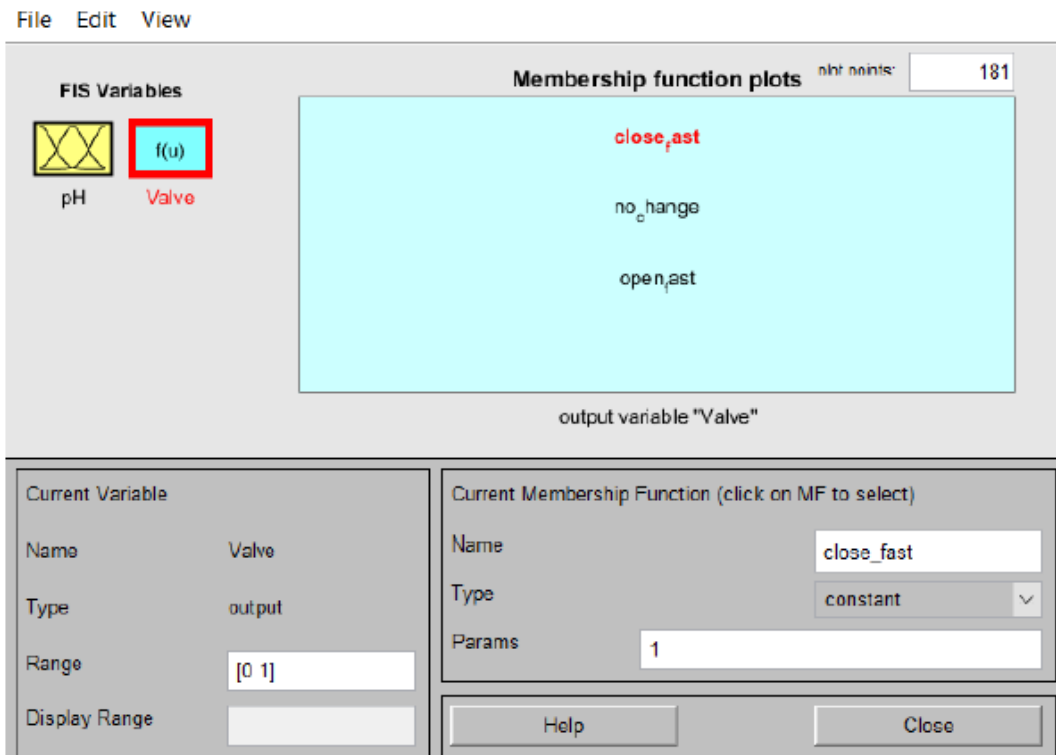


Рис.4.3.11. Функція належності «close fast»

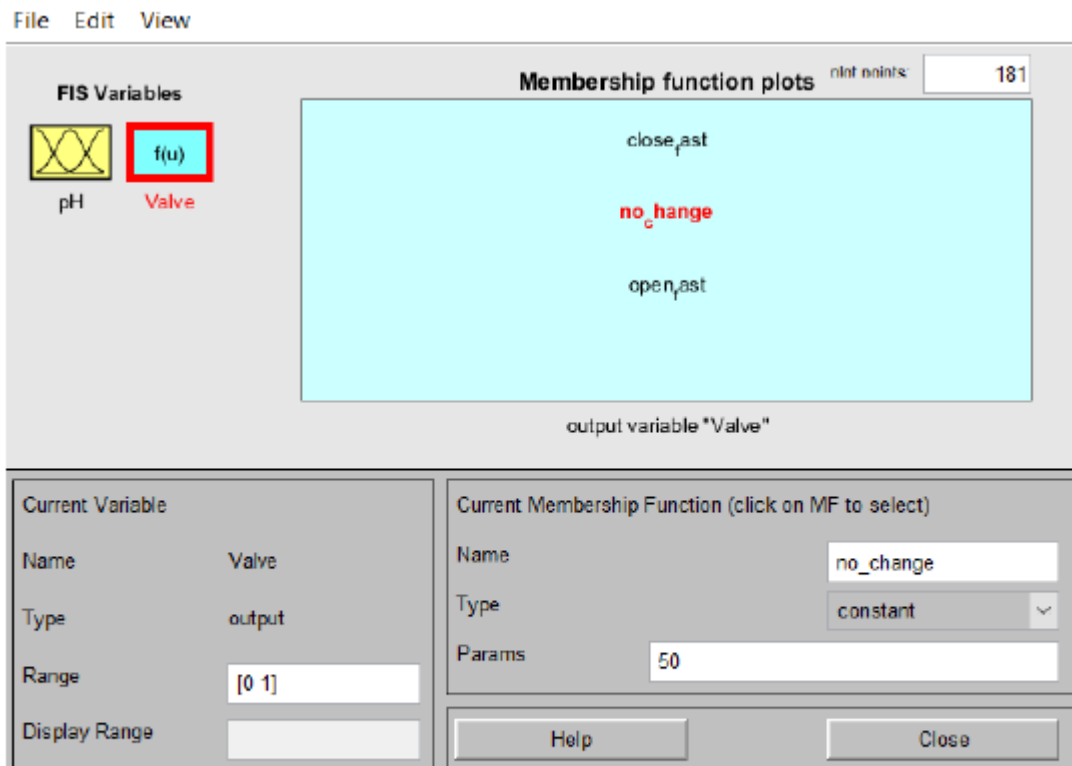


Рис.4.3.12. Функція належності «no change»

FIS Variables

pH **Valve**

Membership function plots nb of points: 181

close_{ast}

no_change

open_{ast}

output variable "Valve"

Current Variable

Name: Valve

Type: output

Range: [0 1]

Display Range: []

Current Membership Function (click on MF to select)

Name: open_fast

Type: constant

Params: 100

Help Close

Рис.4.3.13. Функція належності «open fast»

1. If (pH is Okay) then (Valve is no_change) (1)

2. If (pH is Low) then (Valve is open_fast) (1)

3. If (pH is High) then (Valve is close_fast) (1)

If pH is

Low

Okay

High

none

not

Then Valve is

open_fast

no_change

close_fast

none

not

Рис. 4.3.14. База правил для нечіткого регулятора

File Edit View Options

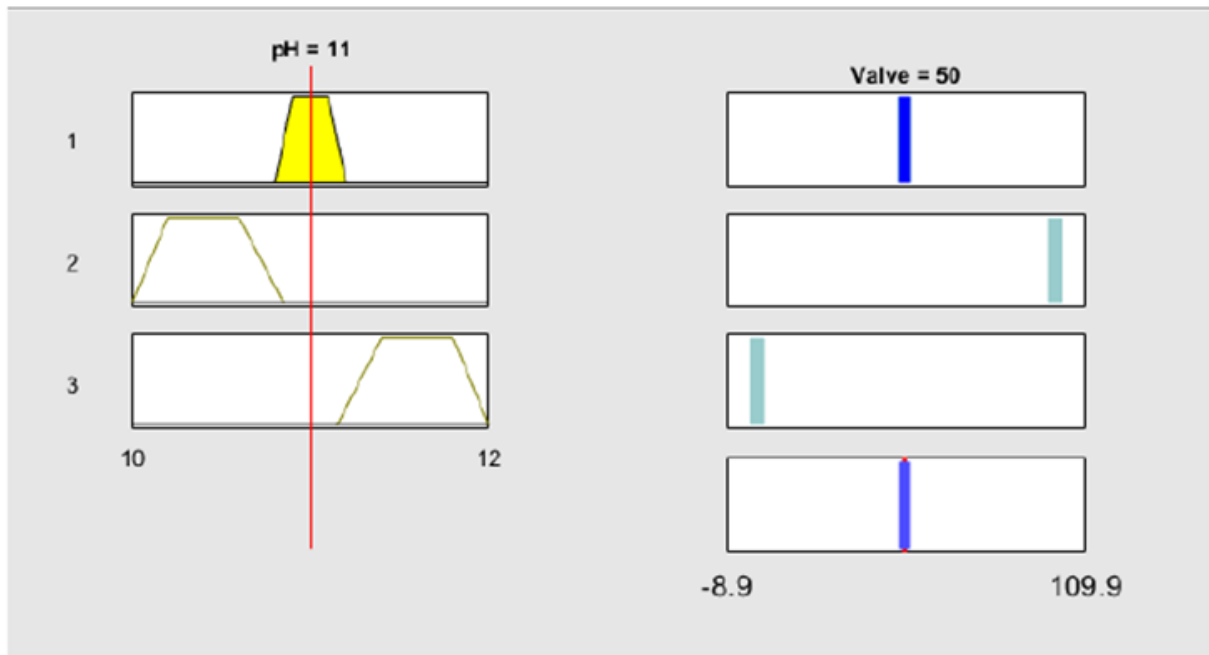


Рис. 4.3.15. Графічного відображення роботи алгоритму нечіткого висновку

File Edit View Options

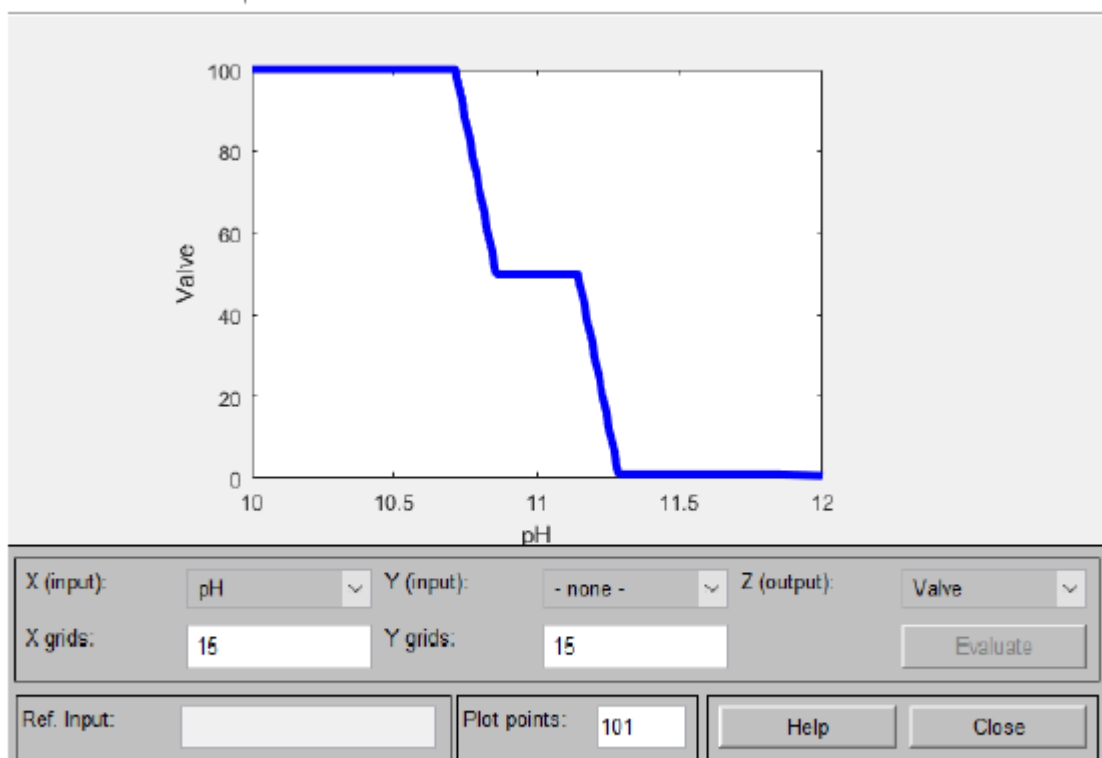


Рис.4.3.16. Поверхні відгуку залежності зміни рН соку та клапана

Схему математичної моделі переддефекатора з винористанням нечіткого регулятора, котрий працює за алгоритмом Sugeno підставлений у вже існуючу схему замість ПІ-регулятора.

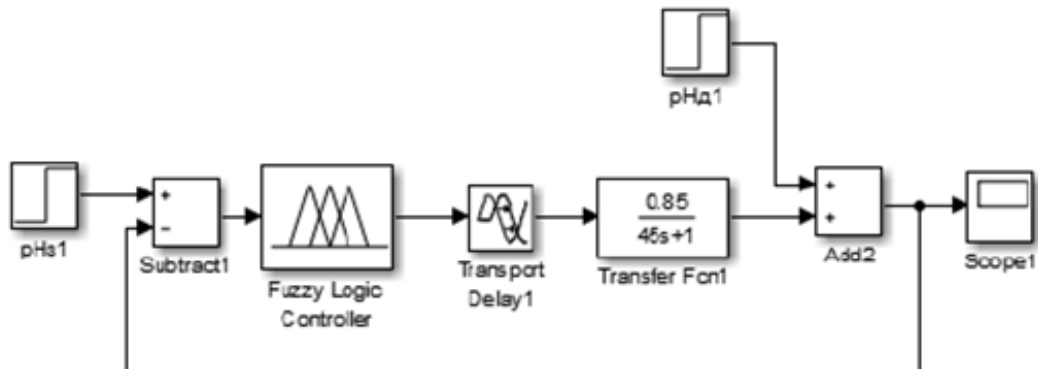


Рис. 4.3.17. Модель переддефекатора з нечітким регулятором



Рис. 4.3.18. Перехідний процес регулювання рН соку в переддефекаторі з нечітким регулятором

Для того, щоб мати повне уявлення роботи нечіткого регулятора порівняно з попереднім регулятором я виконав поєднання двох структурних схем в одну, щоб мати графічне порівняння.

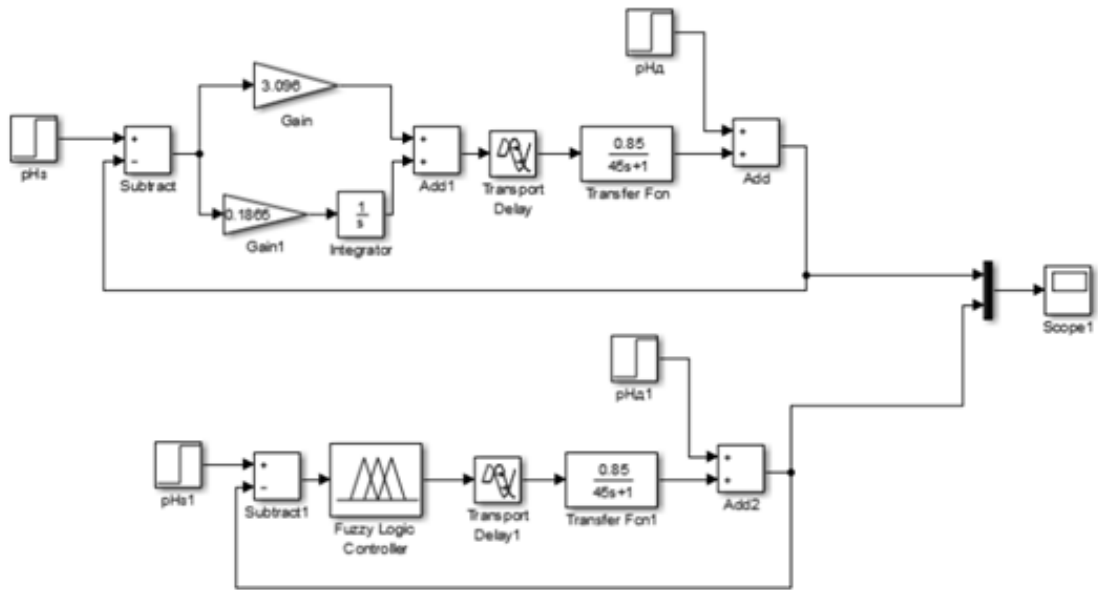


Рис. 4.3.19. Порівняльна структурна схема САР

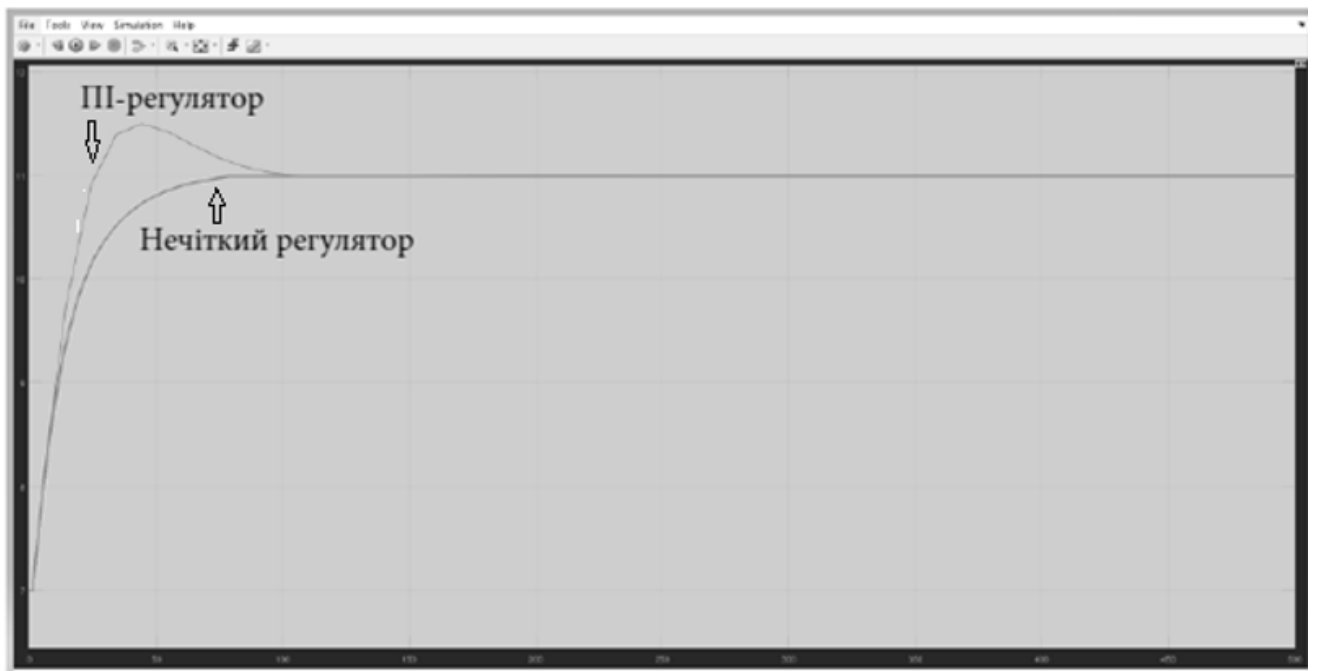


Рис.4.3.20. Перехідні процеси регулювання ПІ- та нечіткого регуляторів

Отже, 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 ПІ-регулятора складає 135 с., а з використанням нечіткого – 83 с.
- 4) Перерегулювання та ступінь затухання відсутні у двох випадках.

Висновок

У моїй кваліфікаційній роботі я детально описав та поетапно розробив систему автоматизованого управління технологічним комплексом цукрового заводу, з вибраним мною головним відділенням, а саме, відділення очистки дифузійного соку, котре йде після дифузійного відділення з метою видалення домішок, некристалізованих речовин, твердих часток та інших забруднень для отримання соку з максимальним видаленням нецукрів, з мінімальною забарвленістю речовини та осаду з найліпшими фільтраційними властивостями.

При реалізації розробленої мною схеми автоматизації можна досягти ряду покращень не тільки на вибраному відділенні, а й на всьому виробництві. Це першочергово стосується взаємозв'язку із вибором та роботою обладнання, котре бере участь в процесі очищення дифузійного соку.

Автоматизація процесу очистки дифузійного соку робить можливим нагляд за всіма технологічними аспектами на підприємстві переробки цукрового буряку без потреби в людському втручанні; використання новітніх та модернізованих систем автоматизації підвищує показник рівня безпеки та зниження ризиків на цукропереробних заводах; оптимізація технологічних принципів через вплив та можливість безперервній перевірці за виконанням стандартів та вимог до технологічного режиму для поліпшення показників якості готової продукції.

Саме з даних позицій і потрібно знаходити можливості і шляхи підвищення ефективності кожної розробленої ланки, через те що багатоступеневе вапняно-вуглекислотне очищення дифузійного соку слід розглядати як єдиний технологічний процес з розподіленими функціями на кожному етапі із врахуванням вимог наступного.

Даний розроблений мною проект спрямований на вирішення проблематики з створенням документації, котра б детально описувала послідовність виконання автоматичного регулювання процесу очистки дифузійного соку, визначення, підтримку та контрольний нагляд основних параметрів процесу, дотримання їх

необхідного числового значення, гарантування безрерервного функціонування, відстеження та оперативну реакцію на критичні випадки та ситуації, що сприяє поліпшенню фінансового результату.

В проробленій роботі було виконано процесо-технологічний покроковий алгоритм нагляду, контролю, управління та регулювання всіх елементів та аспектів процесів, які відбуваються на вибраному відділенні, за рахунок впровадження в систему PLC, що виготовляється та випускається компанією Schneider Electric.

Система управління та контролю на цукровому заводі з підсистемою очистки дифузійного соку охоплює і розробку відповідного інтерфейсу оператора, що дає йому можливість бути оповіщеним про повну інформацію щодо ходу процесу на кожній ділянці.

Також в рамках розробленого проекту мною було проведено дослідження, перевірку та аналіз властивостей вибраного об'єкта та синтез автоматизованої системи управління з використанням та застосуванням різних видів лінійних 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 Високоєфективна технологія виробництва цукрових буряків. – К. : Інститут
- 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) Пупена О. ОГЛЯД СУЧАСНИХ СТАНДАРТІВ ІНТЕГРОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА / О. Пупена, І. Ельперін, Р. Міркевич. // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2016. – №8. – С. 63– 74.

- 10) 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.
- 11) А.О. Бобух. Автоматизовані системи керування технологічними процесами: Навч. посібник. – Харків: ХНАМГ, 2006. – 185 с.
- 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) Індустрія 4.0 – що це таке та навіщо це Україні [Електронний ресурс] // Асоціація Підприємств Промислової Автоматизації України. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://appau.org.ua/publications/industriya4-0-shho-tse-take-ta-navishho-tse-ukrayini/>.
- 14) <https://enpuir.npu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/11939/Sutchsni%20poglyady%20nf%20peretvorennya%20nesachrov.pdf?sequence=1>
- 15) Дослідження методів визначення оптимальних величин рН і лужності соку преддефекації / Л.П. Рева, Г.О. Сімахіна, Н.М. Пушанко, В.Ю. Яковенко// Цукор України. –2016.–№4.–С.20–22
- 16) Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічний об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтег. технології/ М. В. Лукінюк. - К.: НТУУ «КПІ», 2008. - 236 с.
- 17) Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування. – Київ.: Навчальний посібник, Аграрна освіта, 2010 – 245 с.
- 18) Посібник з лекцій з дисципліни «Автоматизовані системи керування технологічними процесами» / Укладач : Карташов В.В. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017 – 149 с.
- 19) <https://economics.net.ua/files/archive/2012/No3-4/33-40.pdf>

- 20) Пупена О. М. Інтеграція систем управління / О. М. Пупена, І. В. Ельперін. // Харчова і переробна промисловість. – 2005. – №1. – С. 9–11.
- 21) Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник.- К.: Вид-во «Ліра-К», 2011. — 552 с.
- 22) ISA-88/95/106 в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sites.google.com/site/isa88inua/home>.
- 23) 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.
- 24) Dott, Paolo Baldassari. Composizione statistica media del nonzucchero e possibili equivalenti chimici totali //Industria saccarifera Italiana. - 1970, v.63.- N 2.- P.45-47.
- 25) «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
- 26) <https://sites.google.com/site/isa88inua/isa-106/isa-106-i-vazlivist-avtomatizacii-e-rucnih-procedur>.
- 27) ISA-88. Стандарт управління рецептурним виробництвом [Електронний ресурс] // Асоціація Підприємств Промислової Автоматизації України. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://appau.org.ua/news/isa-88-standart-upravleniyya-retsepturnym-proyvodstvom/>
- 28) Діордієв В.Т. Автоматизація процесів виробництва комбікормів в умовах реформованих господарств АПК. – Сімферополь.: Доля, 2004. – 138 с.
- 29) Рева Л.П. Фізико-хімічні основи технологічних процесів очищення дифузійного соку у виробництві цукру: монографія / Л. П. Рева. – Київ : НУХТ, 2012. – 371 с.
- 30) <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/6192/1/2007.pdf>
- 31) С.А. Ляшенко, А.С. Ляшенко, И.С. Беляева Построение линеаризированных математических моделей сокоочистительного оборудования сахарного производства[Текст] // Автоматизированные системы управления и

прибори автоматики: Всеукраїнський міжведомственный научно-технічний збірник –Харьков, 2019. – 104 с. Бібліогр. – 94–101 с. – ISSN 0135-1710.

32) Ванін В. В. Оформлення конструкторської документації : навч. посіб./В. В. Ванін, А. В. Блюк, Г. О. Гнітецька. – К. : Каравела, 2016. – 200 с.

33) Анісімов А.В. Інформаційні системи та бази даних: Навчальний посібник для студентів факультету комп'ютерних наук та кібернетики. / Анісімов А.В., Кулябко П.П. – Київ. – 2017. – 110 с.

34) Самсоненко Д. В. ІоТ В АВТОМАТИЗАЦІЇ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА / Д. В. Самсоненко. // БУКОВИНСЬКА ЕКОНОМІЧНА ФУНДАЦІЯ. – 2018. – С. 13–16.

35) Маслак О.І. Чинники диверсифікацій інноваційних процесів у розвитку цукробурякового комплексу в Україні // Економіка АПК. – 2007. – № 10. – С. 11–16.

36) 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.

37) Ralf Joost and Ralf Salomon. “Advantages of fpga-based multiprocessor systems in industrial applications”. In 31st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2005). IEEE-I E CON, November 2016.

38) 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.

39) <https://repository.lnau.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789>

40) Остапенко Ю.О., Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування: Підручник для студентів вищих закладів освіти, що навчаються за

напрямом «Автоматизація та комп'ютерно- інтегровані технології». – К.: Задруга, 1999. – 424 с

41) 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.

42) 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.

43) 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)

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