

**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)

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

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та  
роботехніка»

(код та назва спеціальності)

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

на тему: Розроблення інтегрованої автоматизованої системи керування  
виробництвом молочної продукції з підсистемою керування пастеризаційно-  
охолоджувальною установкою

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

\_\_\_\_\_ Андрієнко Даниїл Вікторович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Пупена Олександр Миколайович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище) (підпис)

\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент Олександр Ніколенко \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище) (підпис)

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

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ - 2024р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) \_\_\_\_\_ Автоматизації і комп'ютерних систем \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ Автоматизації і комп'ютерних технологій систем управління \_\_\_\_\_

Освітній ступінь \_\_\_\_\_ Магістр \_\_\_\_\_

**Спеціальність** \_\_\_\_\_ 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та роботехніка» \_\_\_\_\_

(код і назва)

Освітньо-професійна програма \_\_\_\_\_ Комп'ютерні технології та програмування в автоматизованих системах управління \_\_\_\_\_

(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач

кафедри \_\_\_\_\_ Ярослав СМІТЮХ \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 24 року

## З А В Д А Н Н Я

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

\_\_\_\_\_ Андрієнка Даниїла Вікторовича \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи \_\_\_\_\_ Розроблення інтегрованої автоматизованої системи керування виробництвом молочної продукції з підсистемою керування пастеризаційно-охолоджувальною установкою \_\_\_\_\_

керівник роботи \_\_\_\_\_ Пупена Олександр Миколайович – доцент, к.т.н. \_\_\_\_\_,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “07” жовтня 2024 року №884-ке \_\_\_\_\_

2. Строк подання здобувачем роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_ Робоче завдання, методичні рекомендації, результати переддипломної практики \_\_\_\_\_

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_ Анотація. Зміст. Розділ 1. Аналітичний огляд літератури та мета магістерської роботи. Розділ 2. Загальносистемні рішення. Розділ 3. Розробка підсистеми управління технологічним процесом. Розділ 4. Індивідуальне завдання. Висновки. Література. \_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Схема автоматизації, схема функціональної структури, структурна схема, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Схема інформаційної структури мережі (M1) \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Розділ 1. Аналітичний огляд літератури та мета магістерської роботи	04.02.2024	
	Розділ 2. Загальносистемні рішення	04.02.2024	
	Розділ 3. Розробка підсистеми управління технологічним процесом	04.02.2024	
	Розділ 4. Індивідуальне завдання	04.02.2024	

**Здобувач** \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Андрієно Д.В.** \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

**Керівник роботи** \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Пупена О.М.** \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## Анотація

Україна активно впроваджує сучасні технології автоматизації у виробничих процесах з метою підвищення ефективності та зниження витрат на виробництво. Особливої уваги заслуговує автоматизація харчової промисловості, де важливими є контроль якості продукції та оптимізація використання ресурсів.

Дана кваліфікаційна робота присвячена розробці автоматизованої системи управління пастеризаційною установкою на базі платформи AVEVA System Platform з інтеграцією підсистеми MES (Manufacturing Execution System). Робота спрямована на підвищення енергоефективності, забезпечення моніторингу параметрів технологічного процесу, а також впровадження інструментів для аналізу ефективності роботи обладнання на основі показника OEE (Overall Equipment Effectiveness).

Основною функцією пастеризаційної установки є термічна обробка продукту для знищення шкідливих мікроорганізмів, що забезпечує його тривалий термін зберігання. Важливу роль у цьому процесі виконує вакуумний деаератор, завданням якого є видалення розчиненого кисню для запобігання окислення та покращення смакових характеристик продукції.

Система управління складається з польового рівня, контролерів і SCADA/HMI-системи, що забезпечує моніторинг стану обладнання, управління технологічним процесом, а також передачу даних на верхній рівень для аналітики. Модернізація системи дозволяє реалізувати комплексний підхід до оптимізації виробництва, зменшуючи втрати та підвищуючи якість продукції.

Моніторинг ефективності роботи обладнання та контроль показників енергоефективності є перспективним рішенням для підприємств харчової промисловості, яке дозволяє знизити витрати на виробництво, забезпечити стабільність роботи обладнання та покращити якість продукції.

**Ключові слова:** автоматизація, AVEVA System Platform, MES, пастеризація, OEE, вакуумний деаератор, харчова промисловість, енергоефективність.

## **Abstract**

Ukraine is actively implementing modern automation technologies in production processes to enhance efficiency and reduce production costs. The automation of the food industry, where quality control and resource optimization are critical, deserves special attention.

This qualification work is devoted to the development of an automated control system for a pasteurization plant based on the AVEVA System Platform with the integration of an MES (Manufacturing Execution System) subsystem. The work focuses on improving energy efficiency, ensuring process parameter monitoring, and introducing tools for analyzing equipment performance using the OEE (Overall Equipment Effectiveness) metric.

The primary function of the pasteurization plant is the thermal treatment of products to eliminate harmful microorganisms, ensuring an extended shelf life. A crucial role in this process is played by the vacuum deaerator, which removes dissolved oxygen to prevent oxidation and improve the product's taste characteristics.

The control system consists of a field level, controllers, and a SCADA/HMI system that provides equipment status monitoring, process control, and data transmission to the upper level for analysis. The modernization of the system allows for a comprehensive approach to production optimization, reducing losses, and improving product quality.

Monitoring equipment performance and controlling energy efficiency parameters is a promising solution for food industry enterprises. It enables reduced production costs, ensures stable equipment operation, and enhances product quality.

**Keywords:** automation, AVEVA System Platform, MES, pasteurization, OEE, vacuum deaerator, food industry, energy efficiency.

# ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. Розділ 1 – Аналітичний огляд літератури та мета магістерської роботи.....	7
1.2 Наукові основи управління виробництвом молочної продукції.....	21
1.3 Постановка задачі дослідження.....	23
РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНОСИСТЕМНІ РІШЕННЯ.....	24
2.1. Загальний опис об’єкту та системи.....	24
2.2. Розробка загальної ієрархічної моделі обладнання.....	26
2.3. Функціональна структура системи.....	31
Розділ 3 – Розробка підсистеми управління технологічним процесом...36	
3.1 – Опис інформаційного забезпечення АСУТП виробництва та основного відділення.....	36
3.2 – Схема автоматизації та специфікації.....	39
3.3 Схема компонування ПЛК.....	46
РОЗДІЛ 4. Спеціальне завдання.....	48
4.1 –Розробка розподіленої системи моніторингу.....	48
ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53

## Вступ

Сучасний розвиток промисловості вимагає впровадження новітніх технологій автоматизації для забезпечення ефективного управління виробничими процесами. Однією з ключових галузей, де автоматизація відіграє вирішальну роль, є харчова промисловість. Якість продукції, оптимізація ресурсів та енергозбереження стають визначальними факторами конкурентоспроможності підприємств у сучасних умовах.

Пастеризаційні установки є невід'ємною частиною виробничих процесів у молочній, соковій, пивоварній та інших галузях харчової промисловості. Забезпечення стабільної роботи цього обладнання, моніторинг його енергоефективності та інтеграція з сучасними системами управління виробництвом дозволяють суттєво підвищити продуктивність підприємства та зменшити виробничі витрати.

Впровадження AVEVA System Platform з використанням MES-підсистеми відкриває нові можливості для управління виробничими процесами. Вона дозволяє не лише здійснювати контроль технологічних параметрів у реальному часі, але й отримувати аналітичні дані для прийняття оптимальних управлінських рішень.

У даній кваліфікаційній роботі розглядається модернізація типової системи управління пастеризаційною установкою. Основна увага приділяється інтеграції підсистеми моніторингу ефективності роботи обладнання із застосуванням показника загальної ефективності обладнання (OEE) та вдосконаленню енергоефективності виробничих процесів.

Запропонований підхід спрямований на вирішення проблем автоматизації та підвищення продуктивності підприємств харчової промисловості, що особливо актуально в умовах сучасного економічного розвитку України.

## **РОЗДІЛ 1. Аналітичний огляд літератури та метамагістерської роботи**

Великий відсоток Української промисловості займає виробництво молока та молочної продукції. За рахунок перевірених часом технологій виробництва дана галузь відкрита до впровадження нових технологій для покращення та оптимізації виробництва, а по причині зростаючого попиту на дані продукти інновації впроваджуються в даному секторі вже сьогодні.

В епоху індустрії 4.0 виробництво молока являє собою складний технологічний процес з підвищеним контролем на кожному його етапі, так як найменше відхилення може мати негативні наслідки як для виробництва так і споживача. Перед виробництвом будь якого молочно продукту молоко повинно пройти процес пастеризації для того, щоб сире молоко стало безпечним для вживання, тому даний процес без перебільшення можна назвати найважливішим на будь якому підприємстві, яке займається виробництвом молочної продукції. Для забезпечення якості молока на виробництвах використовується найсучасніше обладнання, з ретельною перевіркою його у зазначені терміни. Якість молока перевіряється на кожному етапі виробництва починаючи з прийому та завершуючи відправкою готових продуктів до споживачів.

Зважаючи на загальну світову тенденцію індустріалізації та цифровізації сучасний підхід створення систем автоматизації являє собою поєднання готових типових рішень в одну цілісну систему, яка і є виробництвом. Метод побудови систем із готових технологічних ліній, які лише поєднують між собою безпосередньо на місці виробництва суттєво скорочує загальний час будівництва нового підприємства а загальна уніфікація технологічних ліній підвищує їхню надійність та полегшує обслуговування. Після підключення всіх складових таких систем залишається лише створити загальну систему контролю та управління процесами найчастіше це рішення SCADA та MES.

В Україні більшість підприємств, які займаються обробкою молока та виробництвом молочної продукції поступово впроваджують сучасні системи

контролю якості молока та аналітики роботи обладнання з метою підвищення якості продукції та прогнозування виникнення аварійних ситуацій. Впровадження таких систем потребує комплексного підходу та аналізу наявних технологічних рішень.

Аналізуючи наявні технологічні комплекси виробництв молочної продукції як складної багаторівневої системи необхідно застосовувати загальні принципи системного підходу:

### **1. Принцип цілісності**

Система розглядається як єдине ціле, а її елементи взаємозалежні. Це означає, що для досягнення мети кожен компонент має працювати в координації з іншими. Наприклад, у технологічному комплексі для пастеризації молока всі підсистеми (пастеризатор, система охолодження, резервуари) мають працювати злагоджено, щоб забезпечити якість і безпеку продукту.

### **2. Принцип ієрархічності**

Будь-яка система може складатися з підсистем, які теж мають свою структуру. Ієрархія системи дозволяє виділити різні рівні управління та взаємодії. Наприклад, на рівні заводу може бути центральна система управління, а на рівні технологічних ліній – підсистеми контролю за конкретними процесами.

### **3. Принцип структурності**

Система має певну структуру, яка визначає зв'язки між елементами. Розуміння структури допомагає ефективно керувати системою та прогнозувати її поведінку. Це означає, що зв'язки між підсистемами мають бути зрозумілими і враховуватися при управлінні процесом.

### **4. Принцип цілеспрямованості**

Система створюється для досягнення певної мети, і всі її компоненти повинні сприяти її досягненню. Наприклад, метою пастеризаційного

комплексу є забезпечення безпечної обробки молока, тому всі його елементи налаштовані на виконання цього завдання.

## **5. Принцип адаптивності**

Системи мають здатність адаптуватися до зовнішніх умов. Наприклад, виробничі системи можуть автоматично регулювати параметри роботи залежно від змін у зовнішньому середовищі, таких як зміна температури або обсягів сировини.

## **6. Принцип зворотного зв'язку**

Системний підхід передбачає наявність механізмів зворотного зв'язку для контролю та коригування роботи. Завдяки зворотному зв'язку система може реагувати на відхилення і вчасно вносити корективи, що є важливим для досягнення стабільності та ефективності процесу.

## **7. Принцип самоорганізації**

Деякі складні системи здатні самостійно організовуватися і вдосконалюватися. В умовах індустрії 4.0, наприклад, виробничі системи можуть використовувати штучний інтелект для оптимізації процесів без втручання людини.

## **8. Принцип наукового підходу**

Системний підхід вимагає чіткого аналізу і моделювання, що дозволяє розробити точне уявлення про систему, її компоненти та взаємозв'язки. Це необхідно для раціонального планування, контролю і вдосконалення виробничих процесів.

## **9. Принцип економічності**

Системи проектуються таким чином, щоб досягти максимальної ефективності при мінімальних витратах. Це передбачає оптимізацію витрат ресурсів, мінімізацію втрат та досягнення високої продуктивності.

Загалом, системний підхід дозволяє досягти комплексного розуміння і контролю об'єкта, що особливо корисно для складних технологічних процесів, таких як пастеризація та виробництво молока.

На основі системного підходу можна побудувати структурну схему підприємства з виробництва пастеризованого молока, яка допоможе зрозуміти взаємозв'язки між основними підсистемами та їх ролі у досягненні загальної мети.

### **Вхідні ресурси (Сировина)**

На початку процесу до підприємства надходить сировина — сире молоко, яке проходить початковий контроль якості в лабораторії. Це критично важливий етап для забезпечення безпеки продукту, який реалізує принцип цілеспрямованості системного підходу.

### **Відділення прийому молока**

Сировина надходить у прийомне відділення, де зберігається у великих резервуарах до початку обробки. Цей етап забезпечує ієрархічність і адаптивність системи, дозволяючи підприємству гнучко реагувати на зміну обсягів постачання.

### **Система очищення та фільтрації**

Далі молоко проходить первинну очистку від можливих домішок, що відповідає принципу структурності. Тут використовуються фільтри та сепаратори, що усувають фізичні домішки та нормалізують склад продукту для подальшого процесу пастеризації.

### **Пастеризаційне відділення**

Центральна частина технологічного процесу. Молоко нагрівається до встановленої температури, забезпечуючи знищення патогенів. Структурно цей етап можна уявити як ланцюжок пастеризаційних установок, що працюють в автоматичному режимі з використанням зворотного зв'язку для контролю температури та часу витримки. Впровадження інноваційних рішень у цій

частині комплексу дозволяє реалізувати адаптивність та самоорганізацію системи.

### **Система охолодження**

Після пастеризації молоко швидко охолоджується для збереження його властивостей та забезпечення тривалого терміну зберігання. Охолоджувальна установка є критичним елементом, що продовжує реалізацію цілеспрямованості та економічності.

### **Резервуари зберігання**

Охоложене молоко зберігається в спеціальних резервуарах, готових до розливу або подальшої переробки. Цей етап зберігання також має бути адаптивним, щоб ефективно керувати обсягами молока, яке вже оброблено.

### **Фасувальне відділення**

Далі пастеризоване молоко направляється до фасувальної лінії, де відбувається його розлив у упаковки. Ця частина схеми інтегрує сучасні технології контролю за масою, герметичністю та якістю кожної упаковки, що відповідає принципам структурності та економічності.

### **Система управління (SCADA/MES)**

Усі технологічні етапи об'єднуються в єдину систему управління на основі SCADA або MES, яка контролює, збирає дані та забезпечує зворотний зв'язок на всіх етапах. Система управління дозволяє централізовано моніторити всі процеси, реагувати на відхилення та адаптувати процеси відповідно до потреб виробництва, що відповідає принципу самоорганізації.

### **Контроль якості**

На кожному етапі технологічного процесу здійснюється контроль якості, забезпечуючи стабільність характеристик продукту та відповідність стандартам. Це реалізує принципи цілеспрямованості та зворотного зв'язку, дозволяючи вчасно виявляти і коригувати можливі відхилення.

Загальна структура виробництва пастеризованого молока виглядає наступним чином (Рис.1).

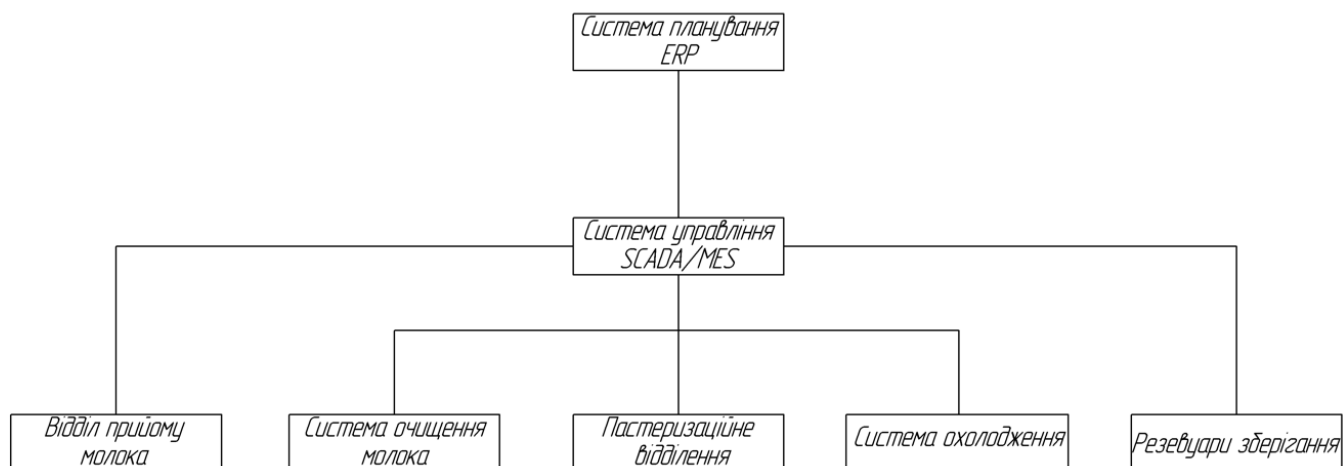


Рис.1.1 – структура виробництва пастеризованого молока

Кожен компонент сучасної системи управління є незалежною підсистемою керування у сучасній концепції представлення виробництва, однак усі окремі ділянки та складові частини підсистем керування поєднуються в одну цілісну систему управління для забезпечення безперервної роботи та контролю виробництва, мінімізуючи вплив людського фактору на протікання технологічних процесів. Даний підхід поєднання окремих частин підприємства в одну комплексну структуру згідно з корпоративними стандартами ієрархічних моделей підприємства, сучасні підприємства з виробництва молочної продукції окрім корпоративних стандартів підпорядковується міжнародним стандартам по організації систем управління та диспетчеризації, окрім цього важливу роль при проектуванні систем приділяють кібербезпеки для забезпечення захищеності системи.

Ключові міжнародні стандарти, які широко впроваджуються при модернізації старих або побудові нових систем є:

- ISA 101, який описує основні принципи для побудови систем диспетчеризації та управління технологічними процесами з метою підвищення ситуаційної обізнаності операторів;

- ISA 88, ISA 95, ISA 106, які описують загальнопромислові стандарти представлення складових частин системи та принципи управління різними типами виробництва:
- ISA/IEC 62443, ISO/IEC 27001, C2M2, GDPR, які описують та регулюють принципи побудови промислових мереж та організації кібербезпеки на виробництві з метою забезпечення конфіденційності та захищеності даних.

Впровадження міжнародних стандартів ISA, IEC та ISO дозволяє промисловим підприємствам не лише підвищити ефективність управління виробничими процесами, але й забезпечити захист даних у межах глобальних вимог кібербезпеки. Це створює умови для безпечної інтеграції виробничих і бізнес-систем, покращення якості продукції, підвищення конкурентоспроможності підприємства та досягнення довготривалого успіху в умовах цифрової трансформації.

Для відповідності всім сучасним вимогам до харчових виробництв системи автоматизації повинні мати системи моніторингу такі як SCADA/HMI, які повинні мати можливість наскрізної інтеграції з різним технологічним обладнанням незалежно від його виробника та надавати можливість створення додатків для управління та моніторингу технологічними процесами у реальному часі.

У молочній галузі для рішень систем диспетчеризації, моніторингу та управління найчастіше обирають рішення компаній AVEVA та SIEMENS. Причинами цього є те, що окремі складові виробництва, тобто технологічні лінії, з яких складається виробництво розроблені з використанням програмного забезпечення одного з цих виробників. Якщо розглядати ці рішення більш детально, можна виявити, що в компанії AVEVA у харчовій промисловості найчастіше використовуються наступні програмні рішення:

- AVEVA InTouch Графічний інтерфейс оператора (HMI), що забезпечує інтуїтивно зрозумілу візуалізацію та контроль технологічних процесів.

- AVEVA Plant SCADA Система диспетчерського контролю і збору даних (SCADA) для великих і комплексних об'єктів.
- AVEVA System Platform Масштабована платформа для інтеграції всіх рівнів автоматизації підприємства, яка дозволяє працювати як з локальними, так і з розподіленими системами.
- AVEVA MES Система управління виробничими процесами (MES), що дозволяє оптимізувати ресурси, забезпечувати якість і збирати дані для прийняття рішень.

В свою чергу від компанії SIEMENS у харчовій промисловості найчастіше використовуються наступні рішення для управління та моніторингу технологічними процесами:

- SIMATIC WinCC (HMI) Рішення для візуалізації та управління виробничими процесами через інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс.
- SIMATIC SCADA (WinCC Professional/TIA Portal) Система диспетчерського контролю для комплексного моніторингу та управління процесами в масштабі підприємства.
- SIMATIC PCS 7 Система управління процесами (DCS) для великих і складних виробництв.
- SIMATIC IT (MES/MOM) Рішення для управління виробничими операціями (MES) і оптимізації ресурсів.

Окрім рішень від всесвітньо відомих рішень інколи на виробництвах використовують локально створені програмні рішення для реалізації функцій управління та диспетчеризації, основною перевагою таких рішень є їхня ціна, зазвичай такі рішення коштують менше ніж рішення великих компаній. Локальні рішення диспетчеризації також мають ряд недоліків основними з яких є обмежений функціонал та відсутність підтримки таких рішень.

## Аналіз технологічного процесу

Процес пастеризації молока не відноситься до складних технологічних процесів. Основні показники, які контролюються під час пастеризації молока це його температура та час витримки молока.

Процес пастеризації молока можна поділити на кілька етапів:

- Приймання молока;
- Попереднє очищення;
- Охолодження до температури  $+4^{\circ}\text{C}$ ;
- Сепарація молока;
- Гомогенізація (обробка під високим тиском для подрібнення жирових кульок, що запобігає утворенню вершкового шару на поверхні);
- Пастеризація, існує три види пастеризації:
  - Низькотемпературна пастеризація:  $63\text{--}65^{\circ}\text{C}$  протягом 30 хвилин.
  - Високотемпературна пастеризація:  $72\text{--}75^{\circ}\text{C}$  протягом 15–20 секунд.
  - Ультрапастеризація:  $135\text{--}137^{\circ}\text{C}$  протягом 2–4 секунд.
- Охолодження молока до температури  $+4^{\circ}\text{C}$ ;
- Перевірка якості пастеризованого молока;
- Пакування;
- Зберігання та транспортування.



Рис.1.2 – Зовнішній вигляд пастеризаційної установки

### Основні частини пастеризаційної установки:

#### 1. Приймальний резервуар:

- **Функція:** Використовується для зберігання сирого молока перед подачею до пастеризаційного обладнання.
- **Особливості:** Оснащений мішалкою для запобігання розшаруванню молока.

#### 2. Система фільтрації:

- **Функція:** Видаляє механічні домішки (волоски, рослинні залишки, пісок) із молока.
- **Особливості:** Складається з сітчастих або тканинних фільтрів.

#### 3. Пластинчастий теплообмінник:

- **Функція:** Забезпечує нагрівання та охолодження молока.
- **Особливості:** Пластини виготовлені з корозійностійкої сталі. У теплообміннику є секції для нагріву молока, пастеризації та охолодження.
- **Принцип роботи:** Молоко нагрівається гарячою водою або паром та охолоджується холодною водою або розчином гліколю.

#### 4. Гомогенізатор:

- **Функція:** Зменшує розмір жирових кульок для запобігання утворенню вершкового шару та підвищення стабільності молока.
- **Особливості:** Працює під високим тиском (10–25 МПа).

#### 5. Пастеризаційний модуль:

- **Функція:** Нагріває молоко до заданої температури (63–137°C) і підтримує його на цій температурі певний час (залежно від режиму пастеризації).
- **Особливості:** Включає секції витримки (зазвичай виконані у вигляді спіральних трубок), які забезпечують необхідний час пастеризації.

#### 6. Охолоджувальний блок:

- **Функція:** Швидко охолоджує пастеризоване молоко до температури зберігання (+4°C).
- **Особливості:** Використовує холодну воду, лід або рідинні хладоагенти.

#### 7. Резервуар для пастеризованого молока:

- **Функція:** Тимчасове зберігання пастеризованого молока перед фасуванням.
- **Особливості:** Має герметичну конструкцію для запобігання повторного забруднення.

#### 8. Насоси та трубопроводи:

- **Функція:** Забезпечують переміщення молока між різними компонентами установки.
- **Особливості:** Виконані з харчової нержавіючої сталі.

#### 9. Система автоматичного керування та SCADA:

- **Функція:** Контролює роботу пастеризаційної установки, регулює параметри (температуру, тиск, час витримки) та веде запис даних.
- **Особливості:** Оснащена датчиками температури, тиску, рівня молока, а також системою аварійного сигналізування.

## 10. Фільтри та пастеризатори для відпрацьованого теплоносія:

- **Функція:** Економлять енергію, забезпечуючи повторне використання тепла.

### Додаткові особливості пастеризаційної установки:

- **Матеріали:** Усі частини, які контактують із молоком, виготовлені з нержавіючої сталі, стійкої до корозії та впливу кислот.
- **Стерильність:** Застосовуються СІР-системи (очищення на місці) для регулярного миття обладнання без його демонтажу.
- **Енергоефективність:** Використання рекуперації тепла для зниження енергоспоживання.

### Технологічний процес

Пастеризація молока починається з його приймання на виробництві. Свіже молоко доставляється в ізотермічних цистернах, що підтримують температуру близько  $+4^{\circ}\text{C}$  для запобігання розвитку мікроорганізмів. На цьому етапі проводиться ретельна перевірка якості молока. Органолептичні показники, такі як запах, колір і смак, оцінюються візуально та сенсорно. Крім того, проводяться лабораторні аналізи для визначення вмісту жиру, білка, а також перевіряється наявність патогенних мікроорганізмів. Після затвердження якості молоко зливається в приймальний резервуар, оснащений системою перемішування, яка запобігає його розшаруванню. Після цього молоко проходить через систему фільтрації, де видаляються механічні домішки, такі як залишки корму, волоски або рослинні частки. Фільтрація здійснюється за допомогою сітчастих або тканинних фільтрів. Потім молоко охолоджується до температури близько  $+4^{\circ}\text{C}$  у спеціальних теплообмінниках, щоб уникнути активного розмноження мікроорганізмів до початку наступних етапів обробки.

Наступний етап — сепарація, під час якої молоко розділяється на вершки і знежирену рідину. Цей процес дозволяє провести нормалізацію

молока, тобто встановити потрібний рівень жирності, який відповідає стандартам або вимогам кінцевого продукту. Наприклад, для питного молока жирність зазвичай встановлюється на рівні 3,2%. Після нормалізації молоко спрямовується до гомогенізатора.

Гомогенізація — це процес, під час якого молоко проходить через вузькі канали під високим тиском (10–25 МПа). У результаті жирові кульки розпадаються на дрібніші частки, що запобігає розшаруванню молока та утворенню вершків. Гомогенізоване молоко стає більш стабільним і приємним на смак, що є важливим для споживачів.

Основна фаза процесу — пастеризація. Молоко спрямовується до пластинчастого теплообмінника, де його нагрівають до заданої температури. Пастеризація може здійснюватися в різних режимах залежно від типу продукту та необхідного терміну зберігання. Наприклад, при низькотемпературному режимі молоко нагрівається до 63–65°C і витримується протягом 30 хвилин. При високотемпературному режимі температура підвищується до 72–75°C, а час витримки скорочується до 15–20 секунд. У випадку ультрапастеризації молоко нагрівається до 135–137°C на 2–4 секунди.

Після нагрівання молоко миттєво охолоджується до +4°C у спеціальній секції теплообмінника. Це дозволяє уникнути повторного розмноження мікроорганізмів і зберегти якість продукту. Перед подачею на фасування молоко проходить фінальну перевірку якості, яка включає тести на стерильність, температуру та органолептичні показники.

Заключний етап — фасування та зберігання. Пастеризоване молоко розливається у стерильні контейнери або упаковки в асептичних умовах. Готовий продукт зберігається при температурі +4°C до моменту відправки споживачам. Усі етапи процесу контролюються автоматизованою системою керування, яка гарантує дотримання технологічних параметрів і веде облік даних для подальшого аналізу.

Таким чином, пастеризація молока є багатоступеневим і складним процесом, що забезпечує збереження його якості, безпечність для споживачів і відповідність стандартам харчової промисловості.

## **1.2 Наукові основи управління виробництвом молочної продукції**

Виробництво молочної продукції є стратегічно важливою галуззю агропромислового комплексу, яка забезпечує споживачів поживними продуктами та відіграє вагомую роль в економіці України та світу. Управління цим сектором вимагає застосування сучасних наукових підходів, які дозволяють забезпечити ефективність, стабільність і високу якість продукції.

### **Системний підхід до управління виробництвом**

Одним із ключових концептів наукового управління молочним виробництвом є системний підхід. Цей методологічний підхід передбачає розгляд всіх елементів виробничого процесу як частин єдиної системи, де кожен компонент взаємодіє з іншими для досягнення спільної мети — виробництва якісної продукції.

Системний підхід передбачає:

- Ієрархічну організацію — розподіл виробництва на рівні: стратегічного управління, управління цехами та безпосереднього контролю технологічних процесів.
- Урахування взаємозв'язків між елементами — наприклад, взаємодія між процесами приймання молока, його пастеризацією, гомогенізацією та розливом.
- Інтеграцію сучасних інформаційних технологій для моніторингу та автоматизованого управління всіма рівнями системи.

### **Автоматизація як основа управління**

Автоматизація процесів у молочній промисловості дозволяє значно підвищити точність і повторюваність технологічних операцій. Вона базується на застосуванні SCADA-систем і промислових контролерів, які забезпечують:

- Моніторинг і регулювання температури, тиску, часу обробки молока.
- Виявлення й автоматичне усунення відхилень від встановлених параметрів.
- Збір і аналіз даних для оптимізації процесів.

Переваги автоматизації включають зниження втрат сировини, забезпечення стабільності якості продукції та мінімізацію впливу людського фактора.

## **Процесний підхід у молочному виробництві**

Процесний підхід полягає у впровадженні безперервного моніторингу та оптимізації кожного етапу виробництва:

- Прийом сировини: контроль якості молока, очищення та нормалізація жирності.
- Пастеризація: знищення патогенів при дотриманні вимог до температури й часу обробки.
- Розлив: забезпечення асептичних умов пакування.

Кожен етап інтегрується в єдину систему управління, що дозволяє оперативно відслідковувати всі параметри і знижувати ризик втрат.

## **Інновації в управлінні**

Сучасні технології дозволяють застосовувати штучний інтелект та аналітику великих даних для покращення управління виробничими процесами.

Наприклад:

- Прогнозування попиту за допомогою ERP-систем.
- Оптимізація енергоспоживання через системи контролю ресурсів.
- Використання сенсорних технологій для точного контролю якості продукту.

## **Висновок**

Наукові основи управління виробництвом молочної продукції базуються на поєднанні системного і процесного підходів із впровадженням сучасних технологій автоматизації. Це забезпечує підвищення ефективності, якості та гнучкості виробництва, дозволяючи підприємствам відповідати сучасним вимогам ринку та стандартам якості.

### 1.3 Постановка задачі дослідження

Автоматизація виробничих процесів є одним із ключових чинників успішного розвитку сучасної харчової промисловості, зокрема у виробництві молока. Інтеграція автоматизованих систем управління дозволяє не лише підвищити ефективність виробництва, але й забезпечити стабільно високу якість готової продукції, зменшити втрати сировини та дотримуватися суворих стандартів харчової безпеки.

Процес класичної пастеризації молока потребує точного контролю температурних, часових та інших параметрів для забезпечення ефективного знищення патогенних мікроорганізмів при збереженні поживних властивостей продукту. Вдосконалення автоматизованої системи управління пастеризацією дозволить мінімізувати вплив людського фактора, оптимізувати витрати енергії та забезпечити високий рівень контролю на всіх етапах процесу.

Метою цієї магістерської роботи є розробка та вдосконалення автоматизованої системи управління технологічним процесом пастеризації молока для підвищення ефективності виробництва та забезпечення якості готового продукту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- Провести системно-технічний аналіз технологічного комплексу виробництва пастеризованого молока.
- Розробити автоматизовану підсистему управління пастеризацією, що забезпечить точний контроль температурних, часових і тискових параметрів процесу.
- Впровадити сучасні інформаційні технології для моніторингу та аналізу параметрів виробництва в режимі реального часу.
- Оцінити ефективність роботи вдосконаленої системи управління шляхом проведення експериментальних досліджень.

Результати виконання поставлених задач сприятимуть оптимізації процесу пастеризації, забезпеченню стабільної якості продукції та підвищенню загальної ефективності виробництва.

## **РОЗДІЛ 2. – Загальносистемні рішення**

### **2.1 – Загальний опис об'єкту та системи**

Об'єктом автоматизації є технологічний процес пастеризації молока, що є ключовим етапом у виробництві молочної продукції. Цей процес відбувається в основному відділенні підприємства, яке займається обробкою сировини для отримання пастеризованого молока.

На рівні технологічного процесу основного відділення пастеризація включає наступні етапи:

- **Прийом сировини:** молоко доставляється в охолоджену стані і перевіряється на відповідність фізико-хімічним і мікробіологічним показникам.
- **Підготовка молока:** очищення від механічних домішок, нормалізація жирності та гомогенізація.
- **Пастеризація:** нагрівання молока до визначеної температури для знищення патогенних мікроорганізмів із подальшим охолодженням.
- **Фасування:** розлив пастеризованого молока у герметичну упаковку.

На рівні всього виробництва підприємство має замкнутий цикл обробки, що включає допоміжні підсистеми, такі як охолодження, енергозабезпечення, водоочищення та контроль якості. Кожен із цих процесів є невід'ємною частиною загального технологічного ланцюга, який забезпечує виробництво високоякісного молока.

Загальні рішення, прийняті при проектуванні системи

При проектуванні автоматизованої системи управління були прийняті наступні загальні рішення:

Вибір технологічного обладнання:

Для пастеризації молока обрано сучасні пластинчасті теплообмінники з можливістю автоматизованого регулювання параметрів, таких як температура і швидкість потоку.

Рівні автоматизації:

Польовий рівень: включає датчики температури, тиску, рівня рідини та виконавчі механізми (насоси, клапани).

Рівень управління: базується на використанні промислових контролерів, які забезпечують збір даних з датчиків і управління процесами в реальному часі.

Рівень моніторингу та диспетчеризації: реалізований через SCADA-систему, яка дозволяє оператору контролювати всі етапи процесу, отримувати попередження про відхилення та аналізувати дані.

Контроль якості:

Інтеграція систем контролю параметрів (температури, часу витримки, стану обладнання) дозволяє забезпечити відповідність продукції вимогам стандартів та мінімізувати вплив людського фактора.

Енергоефективність:

Система оснащена теплообмінниками з функцією рекуперації тепла, що дозволяє зменшити споживання енергоресурсів.

Масштабованість:

Проектна архітектура дозволяє легко інтегрувати додаткові компоненти (наприклад, нові пастеризатори чи резервуари) без значних змін у системі.

Кібербезпека:

Для захисту даних і управління доступом впроваджено принципи стандартів ISA/IEC 62443, що забезпечує безпечну експлуатацію системи у виробничій мережі.

Дана система автоматизації орієнтована на забезпечення стабільності виробничого процесу, мінімізацію втрат і покращення якості молочної продукції. Прийняті проектні рішення дозволяють оптимізувати технологічний процес, знижуючи енергоспоживання та підвищуючи надійність роботи обладнання. Завдяки впровадженню сучасних

інформаційних технологій система забезпечує високий рівень контролю і гнучкості, що є критично важливим для сучасного молокопереробного підприємства.

## **2.2 – Розробка загальної ієрархічної моделі обладнання**

Процес пастеризації молока складний та складається з багатьох підпроцесів, які тісно пов'язані між собою. У загальному уявленні класифікації технологічних процесів всі процеси діляться на наступні типи:

- Неперервні процеси (Continuous Processes);
- Пакетні процеси (Batch Processes);
- Періодичні процеси (Sequential Processes);
- Циклічні процеси (Cyclic Processes);
- Неперервно-дискретні процеси (Semi-Continuous Processes);
- Дискретні процеси (Discrete Processes).

При детальному аналізі кожного типу процесу для кожного з них можна виділити декілька ключових особливостей. Неперервні процеси – це процеси, у яких продукт рухається через технологічну лінію без перерви, а всі етапи виробництва виконуються послідовно з мінімальними затримками. Неперервні процеси та побудова систем з їх використанням описуються у промисловому стандарті ISA-95, який забезпечує інтеграцію управління виробничими процесами з бізнес рівнем тобто рівнем MES/ERP. Пастеризація молока, процес який розглядається у цій роботі відноситься саме до неперервних процесів, це класичний приклад інтеграції стандарту ISA-95. Якщо розглядати пакетне виробництво, тоді слід зазначити, що це тип виробництва на якому продукт обробляється у вигляді окремих партій або серій, кожна з яких проходить ті самі етапи виробництва. Яскравим прикладом у молочній галузі є виробництво йогуртів, або інших продуктів, до складу яких входить молоко. Пакетні процеси описуються стандартом ISA-88, який визначає модульну структуру управління технологічними процесами, що

забезпечує гнучкість у роботі з рецептами та партіями. Періодичні процеси – це процеси, які відбуваються покроково з паузами між етапами, вони вимагають певного втручання для переходу до наступного етапу. Як приклад таких процесів можна виділити наладку обладнання перед запуском партії продукту або контроль ферментації у виробництві пива. Даний тип процесів охоплює промисловий стандарт ISA-106, який регулює періодичні процеси та оптимізує виконання повторюваних операцій. Циклічними являються процеси, які виконуються багаторазово протягом технологічного циклу, наприклад пакувальні машини або машини розливу. Неперервно-дискретні процеси являють собою комбінацію неперервних та пакетних процесів та можуть працювати з постійним потоком сировини з перервами на окремих етапах. Яскравим прикладом таких процесів є виробництво соків, де фільтрація виконується неперервно, але пастеризація виконується у партіях. Частково такі процеси відносяться до стандарту ISA-88 завдяки своїй гнучкості у змішаних виробничих умовах. До дискретних процесів відносяться ті процеси, які стосуються виробництва окремих виробів або груп виробів де кожен має індивідуальні параметри. Найяскравішими прикладами таких виробництв є виробництва автомобілів або електроніки. Такі процеси зазвичай пов'язують зі стандартом ISA-95, оскільки інтеграція керування виробництвом з бізнес процесами є критично важливою.

Дана класифікація допомагає зрозуміти, як певні види промислових підприємств пов'язуються з промисловими стандартами, що може суттєво вплинути як на вибір матеріально-технічної бази так і на вибір програмного забезпечення при розробці нових систем у відповідності з сучасними промисловими стандартами.

Аналізуючи виробничі процеси можна зробити висновок, що пастеризація відноситься до неперервних процесів, тож подальшу розробку системи необхідно робити з урахуванням умов, які описані в стандарті ISA-95. Загальну ієрархічну модель обладнання, яку можна використати за основу розробки нової систем можна зобразити наступним чином.

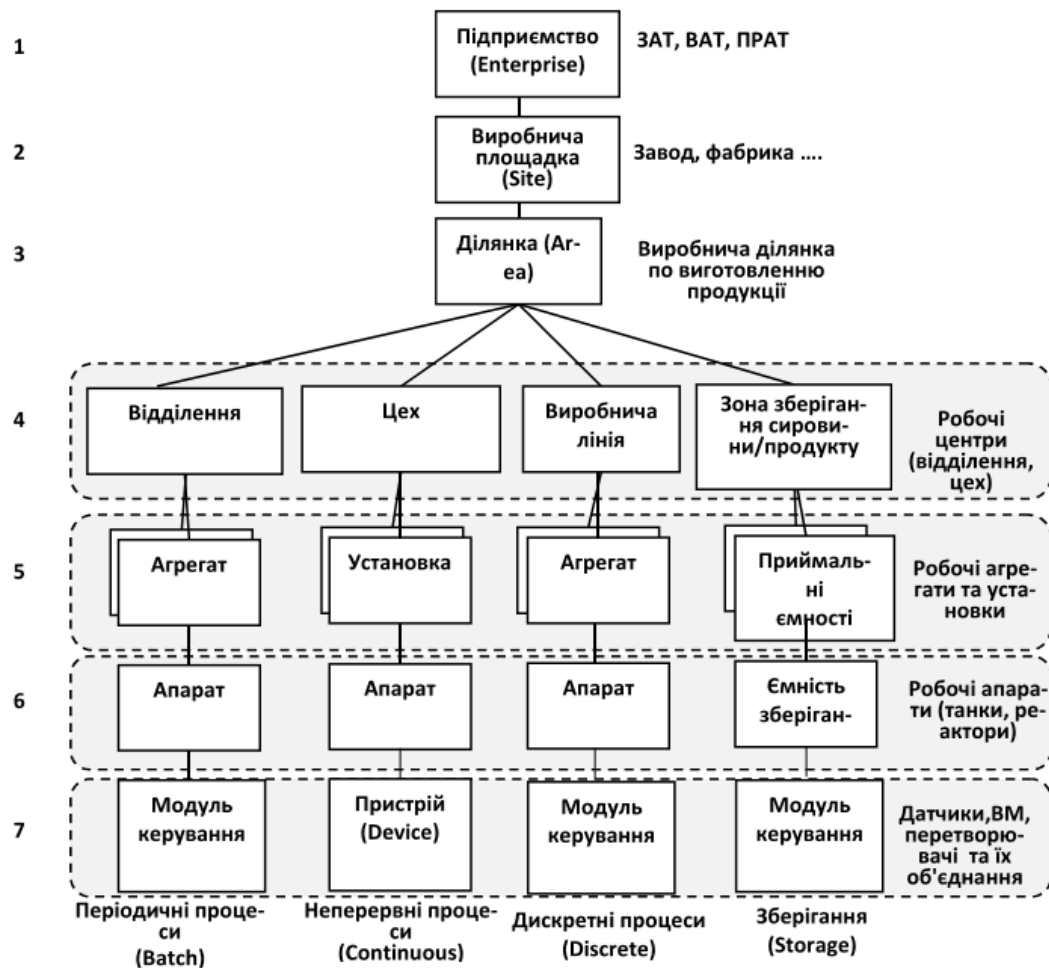


Рис.2.1 – Загальна ієрархічна модель обладнання

На рисунку 2.1 показана загальна модель побудови систем автоматизації з різними типами процесів, які присутні у системі. У випадку виробництва пастеризованого молока дана схема потребує доопрацювань так як на ній зображена загальна модель, а не конкретний випадок. Виходячи з аналізу класифікації типів виробничих процесів, та схеми загальної ієрархічної моделі обладнання, яка зображена на рисунку 2.1 загальну ієрархічну модель обладнання можна поділити на дві умовні частини, для більш глибокого розуміння та деталізації як окремих ділянок так і виробництва в цілому.

На верхніх трьох рівнях такої моделі знаходяться системи керування та моніторингу за системою в цілому. Ієрархічно системи керування мають три рівні, якщо не брати до уваги місцевий рівень, у такій ієрархії на першому тобто найнижчому рівні знаходяться класичні рішення диспетчеризації з використанням SCADA/HMI, такі системи зазвичай виконуються як

диспетчерські пункти а відображення процесу виконується у відповідності до промислового стандарту ISA-101, так як показано на рисунку 2.2.

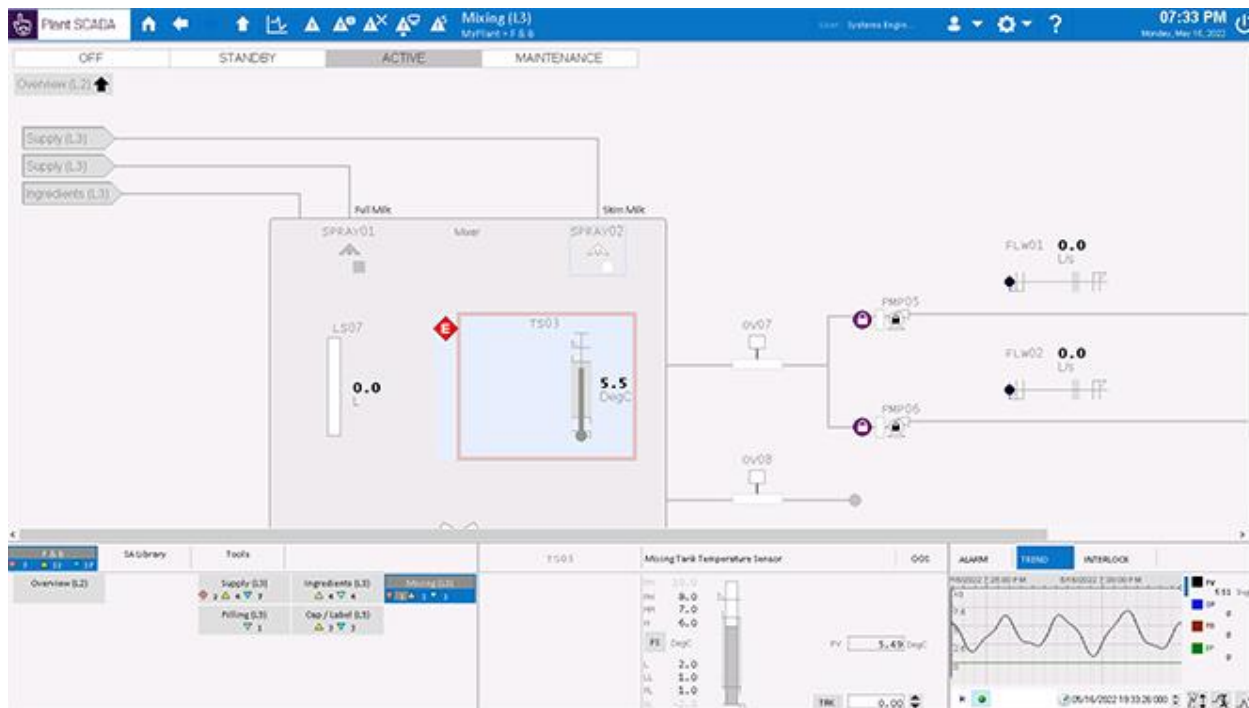


Рис.2.2 – Приклад реалізації системи з використанням ISA-101

На другому рівні знаходяться додатки для керування операціями, збору та аналізу, які називаються MES-системи. На найвищому рівні знаходяться системи планування ресурсів підприємства ERP, які призначені для керування бізнес операціями та охоплюють всі діяльності компанії. Дану частину ієрархічної моделі обладнання можна схематично зобразити наступним чином Рис.2.3.

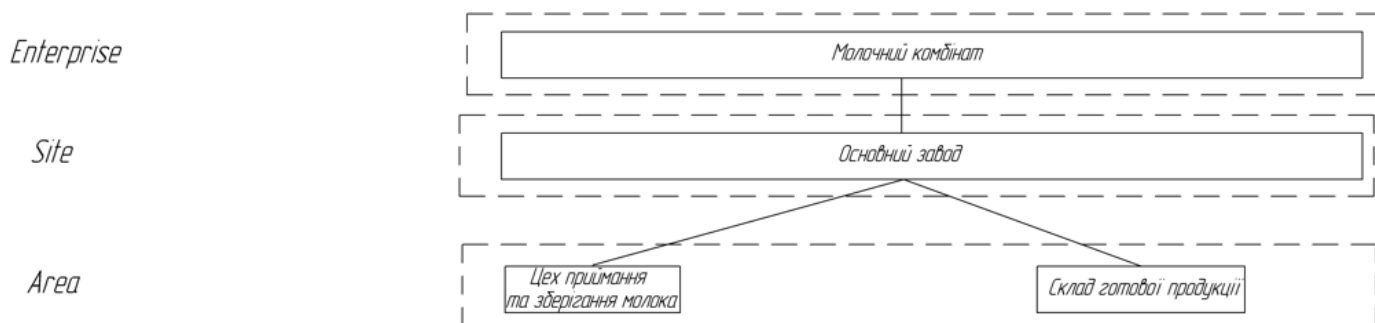


Рис.2.3 – Верхні рівні ієрархічної моделі обладнання

Для розробки нижнього рівня ієрархічної моделі обладнання виробництва пастеризованого молока, необхідно проаналізувати склад пастеризаційно-

охолоджувальної установки, для того, щоб розділити її на певні складові частини, для розуміння послідовності виконання технологічних операцій та призначення кожного елементу системи. Така модель буде мати наступний вигляд Рис.2.4.

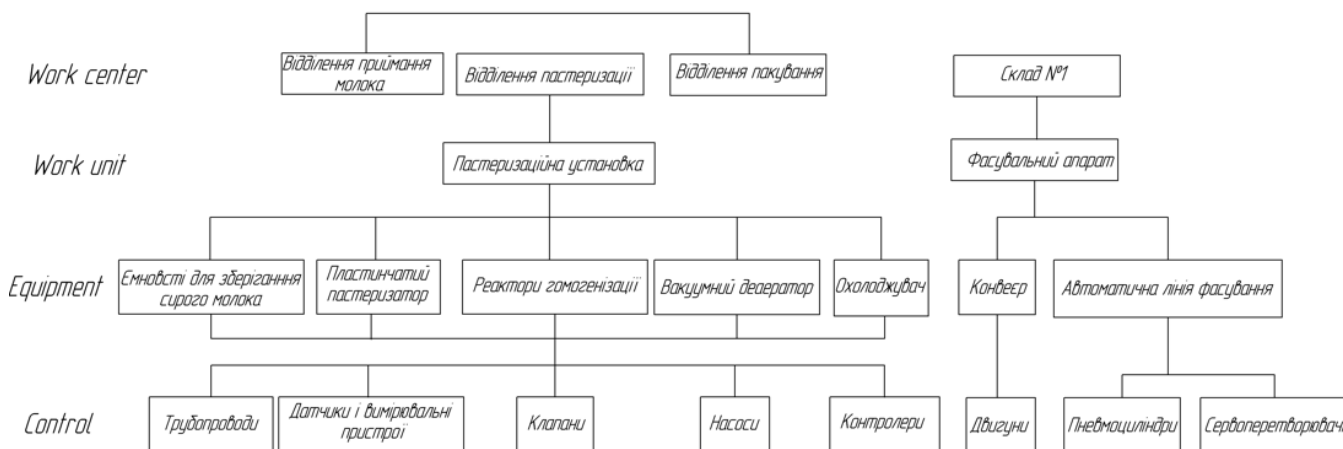


Рис.2.4 – Нижні рівні ієрархічної моделі обладнання

Для розуміння системи в цілому схеми на рисунках 2.3-2.4 необхідно об'єднати для створення однієї загальної ієрархічної моделі обладнання Рис.2.5.

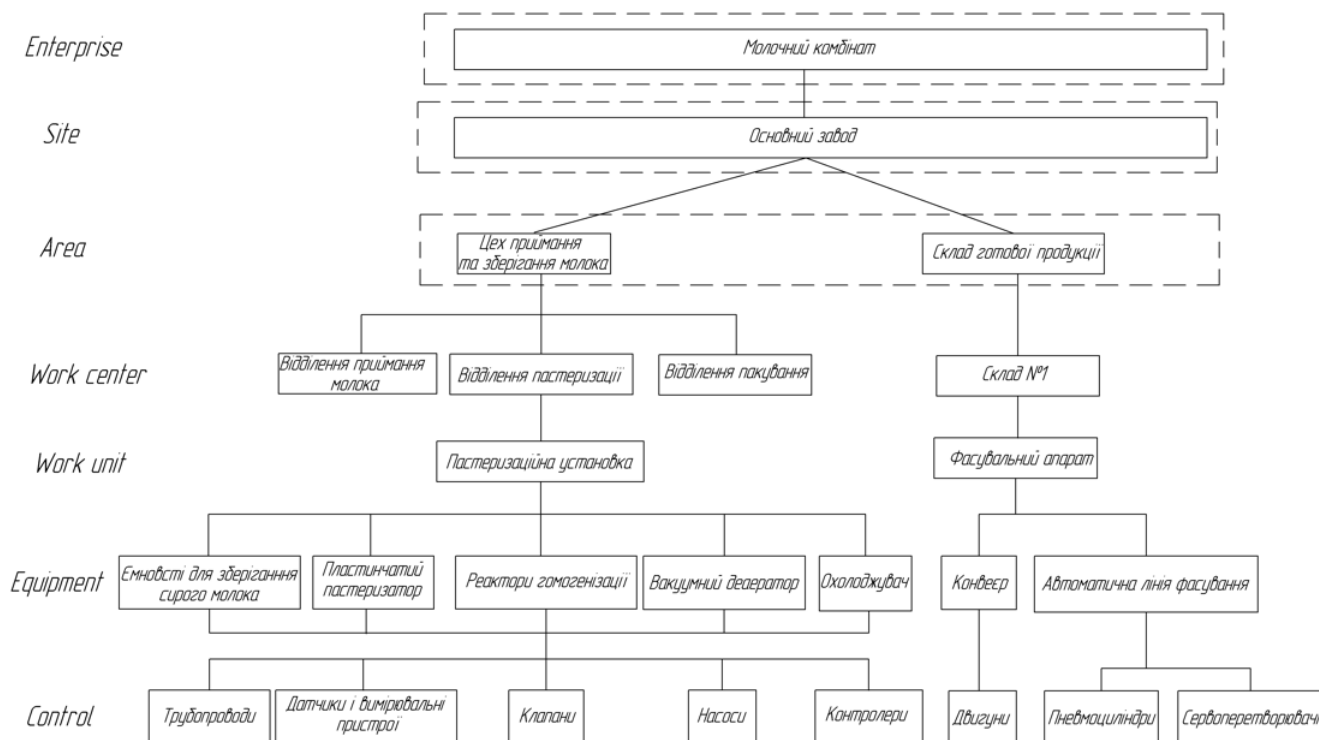


Рис.2.5 – Загальна ієрархічна модель обладнання

## 2.3 – Функціональна структура системи

Згідно зі стандартом ДСТУ EN 62264, який стандартизує представлення об'єктів та функцій, які стосуються операційної діяльності на 3 рівні, при розробці або модернізації систем автоматизації необхідно створювати відповідні схеми функціональної структури системи.

Кожен елемент системи несе на собі певну функцію і відповідно до цих функцій їх можна групувати за певними загальними критеріями.

**Модуль керування (Control Module)** – відповідає за виконання функцій управління обладнанням. Це ті технічні засоби і функції, які зазвичай відображаються на схемах автоматизації як елементи КВПіА: датчики, виконавчі механізми, регулятори та їх комбінації. Цей рівень обладнання може бути цікавим для систем класу ТОiP та ЕАМ. Наприклад, системи технічного обслуговування та ремонту можуть потребувати інформацію про кількість спрацьовувань, мотогодини роботи, аналіз тривог тощо. Варто зазначити, що у цьому випадку система верхнього рівня більше зацікавлена у загальному стані виконавчого механізму, ніж у деталях, наприклад, положення окремих датчиків.

**Модуль технологічного обладнання (Equipment Module)** – забезпечує виконання певної функції у технологічному процесі, наприклад перекачування продукту (насосний агрегат) або нагрівання (теплообмінник) тощо. Такі модулі складаються з технологічного обладнання та модулів управління. При інтеграції з вищими рівнями може передаватися інформація про їхній стан.

**Робочий вузол (Work Unit)** – виконує одну чи кілька операцій у виробничому процесі. У порційному виробництві (наприклад, реактори чи ємності) це може бути технологічний вузол, у безперервному – апарати постійної дії, а в дискретному – обладнання, наприклад, пакувальні машини. Дані, що надходять на вищі рівні, можуть включати стан обладнання, обсяг виробленої продукції та інші ключові показники. У зворотному напрямку

передаються команди, такі як запуск чи зупинка, а також параметри, як-от кількість продукту, тип операції, рецепти тощо.

**Робочий центр (Work Center)** – група обладнання, що виконує функції створення напівпродукту. Як і у випадку з робочим вузлом, між рівнями може відбуватися обмін даними про стан, команди управління і технологічні параметри.

Зазвичай, рівень АСКТП обмежується межами робочого центру або навіть робочого вузла. Обладнання, що знаходиться на вищих рівнях, зазвичай не інтегрується до SCADA-систем.

ІАСУВ (інтегрована автоматизована система управління виробництвом) має дворівневу структуру, що складається з:

1. **Рівня технологічного процесу**, який включає дві підсистеми:
  - Автоматизована система управління котлоагрегатом;
  - Автоматизована система управління енергоресурсами.
2. **Рівня виробництва.**

Підсистеми АСУТП котлоагрегату та енергоресурсів є частинами ІАСУВ, створеними для управління котлоагрегатами. Вони організовані у три рівні:

- **Рівень датчиків:** включає сенсори, а також розподілені засоби вводу/виводу.
- **Рівень контролерів:** складається з програмованих логічних контролерів (ПЛК) котлоагрегатів та енергоресурсів.
- **Рівень SCADA/НМІ:** забезпечує візуалізацію та управління через ПК та операторські панелі.

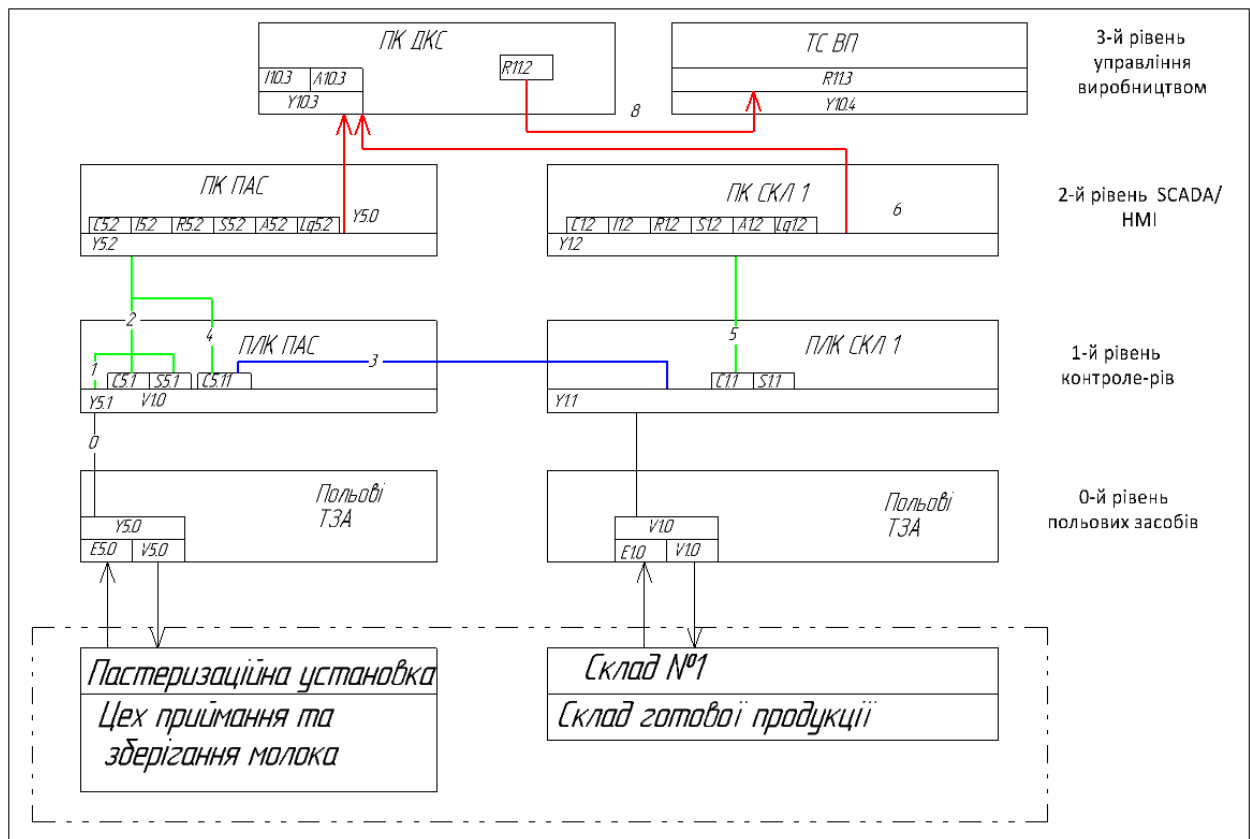


Рис 2.6 – Функціональна структура системи

На рівні виробництва система включає в себе робочу станцію головного технолога ПК ДКС, основними функціями якої є контроль за основними виробничими параметрами. Окрім ПК ДКС на рівні виробництва також присутній технологічний сервер ТС, який призначений для реєстрації всіх подій, нештатних ситуації та ведення архівів всіх технологічних параметрів. Додатково передбачені інформаційні панелі, на яких відображаються дані про стан обладнання.

На нижньому рівні розташовуються промислові логічні контролери ПЛК, які призначені для керування виконавчими механізмами та збору даних з датчиків польового рівня. У якості основного ПЛК використано ПЛК Schneider Modicon 580, який керує всіма процесами пастеризаційно-охолоджувальної установки. Оскільки даних контролер працює по внутрішній шині Ethernet він забезпечує високошвидкісний обмін даними з модулями розширення та з розподіленими шасі віддаленого вводу/виводу. Для реалізації віддаленого вводу/виводу використано можливості процесорного модулю, на стороні

острову в свою чергу знаходиться модуль BMX CRA 312 для комунікації з основним процесором. Така концепція надає системі додаткову гнучкість так як острів є незалежним і при внесенні змін у його роботу основний процес не зупиниться.

Польовий рівень в свою чергу складається з датчиків, вторинних перетворювачів, виконавчих механізмів та частотних перетворювачів.

Таблиця 1 – Таблиця умовних позначень до схеми функціональної структури

Позначення	Найменування
ТЗА	Технічні засоби автоматизації, які відносяться до польового рівня
ПЛК ПАСТ	Мікропроцесорний контролер для відділення
ПЛК СКЛ 1	Мікропроцесорний контролер для складу №1
ПК ПАСТ	АРМ оператора контролю пастеризації(на базі комп'ютера)
ПК СКЛ 1	АРМ оператора складу 1(на базі комп'ютера)
ПК ДКС	Диспетчерсько-координуюча станція – АРМ начальника зміни на базі комп'ютера
E1.0, E5.0	Вимірювальні перетворення
V1.0, V5.0	Управління технологічним обладнанням та виконавчими механізмами
Y	Перетворення та обробка інформації
C1.1, C5.1	Автоматизоване регулювання, управління технологічним процесом
C5.11	Автоматизоване управління відкачкою води на виробництво
C1.2, C5.2	Дистанційне управління, формування завдання, настройка регуляторів
S1.1, S5.1	Автоматизоване включення, відключення, переключення, блокування, запуск задач
S1.2, S5.2	Дистанційне включення, відключення, переключення, блокування, запуск задач, зміна режимів роботи регуляторів
I1.2, I5.2	Відображення для контролю за технологічним процесом
I10.3	Відображення для диспетчерського контролю за виробничим процесом
I10.11	Відображення архівних даних по всьому виробництву
R1.2, R5.2	Реєстрація параметрів технологічного процесу
R11.2, R11.3	Реєстрація основних виробничих параметрів
A1.2, A5.2	Контроль стану обладнання, технологічна сигналізація
Lg5.2, Lg 1.5	Ведення журналу подій та тривог
A10.3	контроль виробничих параметрів, контроль якості виробництва

На схемі функціональної структури системи, зображеній на рисунку 2.6 показані основні функціональні компоненти системи та зв'язки між ними. На

кожному рівні системи пристрої виконують конкретні функції. Які забезпечують загальну працездатність та надійність системи.

## Розділ 3 – Розробка підсистеми управління технологічним процесом

### 3.1 – Опис інформаційного забезпечення АСУТП

#### виробництва та основного відділення

Для демонстрації інформаційної структури виробництва та зв'язків між основним та суміжним відділеннями створюються схеми інформаційної структури. На таких схемах зазвичай зображають лінії комунікацій обладнання, яке присутнє в системі, до такого обладнання відносять контролери (ПЛК), частотні перетворювачі, віддалені острови RIO та диспетчерські пункти і сервери збору та обробки даних.

Схеми інформаційної структури допомагають зрозуміти принципи побудови мережевих топологій та використання певних протоколів зв'язку для передачі даних з польового рівня на АРМ оператора.

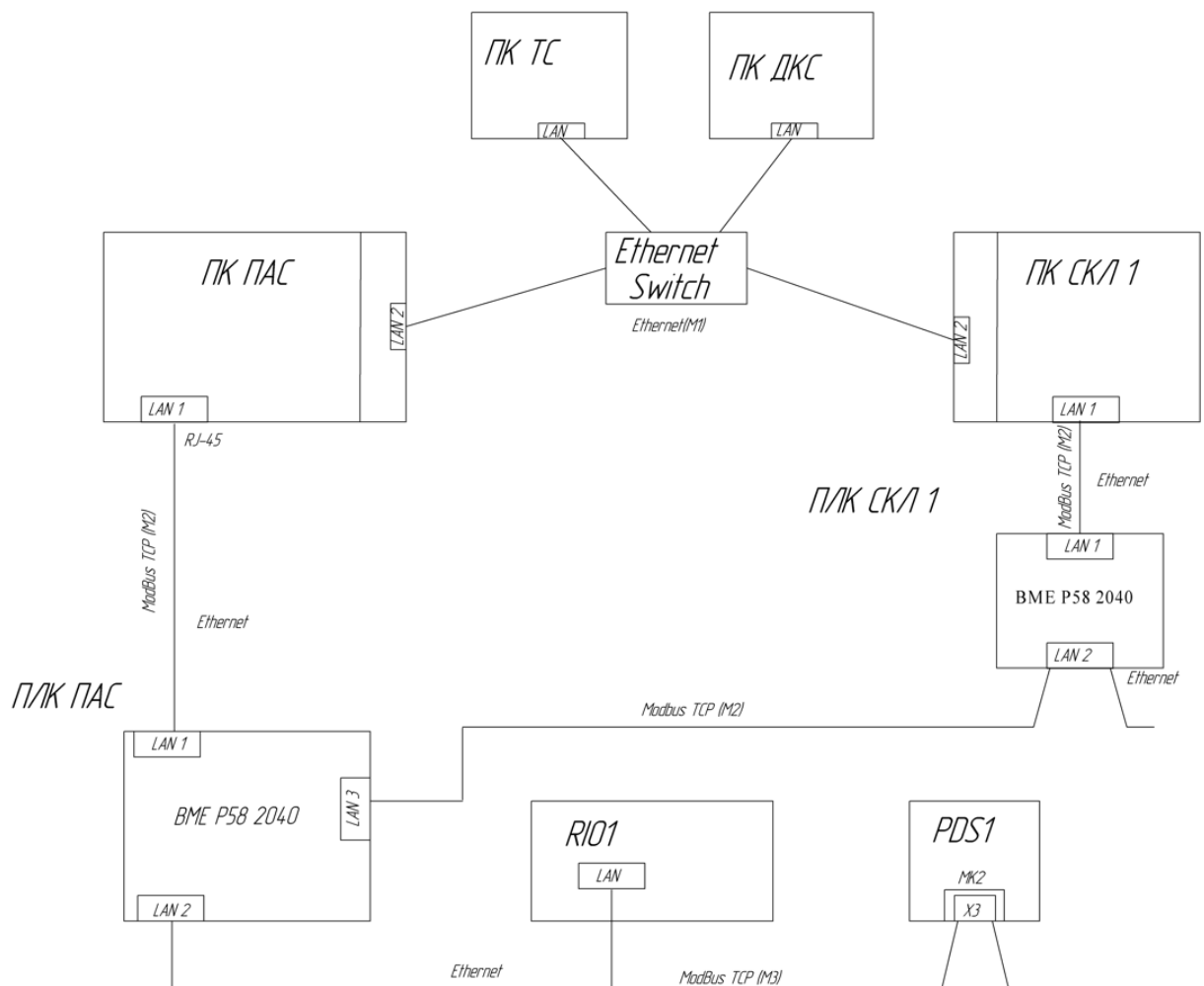


Рис 3.1 – Схема інформаційної структури

При розробці таких схем часто використовують певні скорочення при зображенні елементів, опис всіх скорочень виносять у спеціальні таблиці. У таблиці 2 наведений опис скорочень схеми інформаційної структури.

Таблиця 2 – Опис скорочень схеми інформаційної структури

Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
ROI 1	Модулі віддаленого вводу/виводу	1	Modicon X80
ПЛК ПАС	Мікропроцесорний контролер для керування пастеризаційно-охолоджувальною установкою	1	Modicon M580
ПЛК СКЛ 1	Мікропроцесорний контролер для керування складом № 1	1	Modicon M580
ПК ПАС	АРМ оператора пастеризаційно-охолоджувальної установки	1	Офісного виконання
ПК СКЛ 1	АРМ оператора складу №1	1	Офісного виконання
ПК ДКС	Диспетчерсько-координуюча станція – АРМ начальника зміни	1	Офісного виконання
ПК ТС	Технологічний сервер – сервер архівів технологічних операцій, тривоги та подій	1	Офісного виконання
PDS 1	Частотний перетворювач для керування насосами	3	ATV630

Після означення інформаційної структури системи та огляду того, як різні її елементи поєднуються між собою постає питання між вибором програмного забезпечення, яке буде грати ключову роль в керуванні, моніторингу та зборі даних системи, окрім цього дані програмні продукти повинні ефективно об'єднувати всі компоненти в одну цілісну систему контролю та управління операціями.

Для найкращого вибору програмного забезпечення необхідно розробити схему інформаційної структури мережі підприємства, на якій мають бути зображені АРМ операторів, та необхідні їм елементи для ефективного моніторингу та керування операціями.

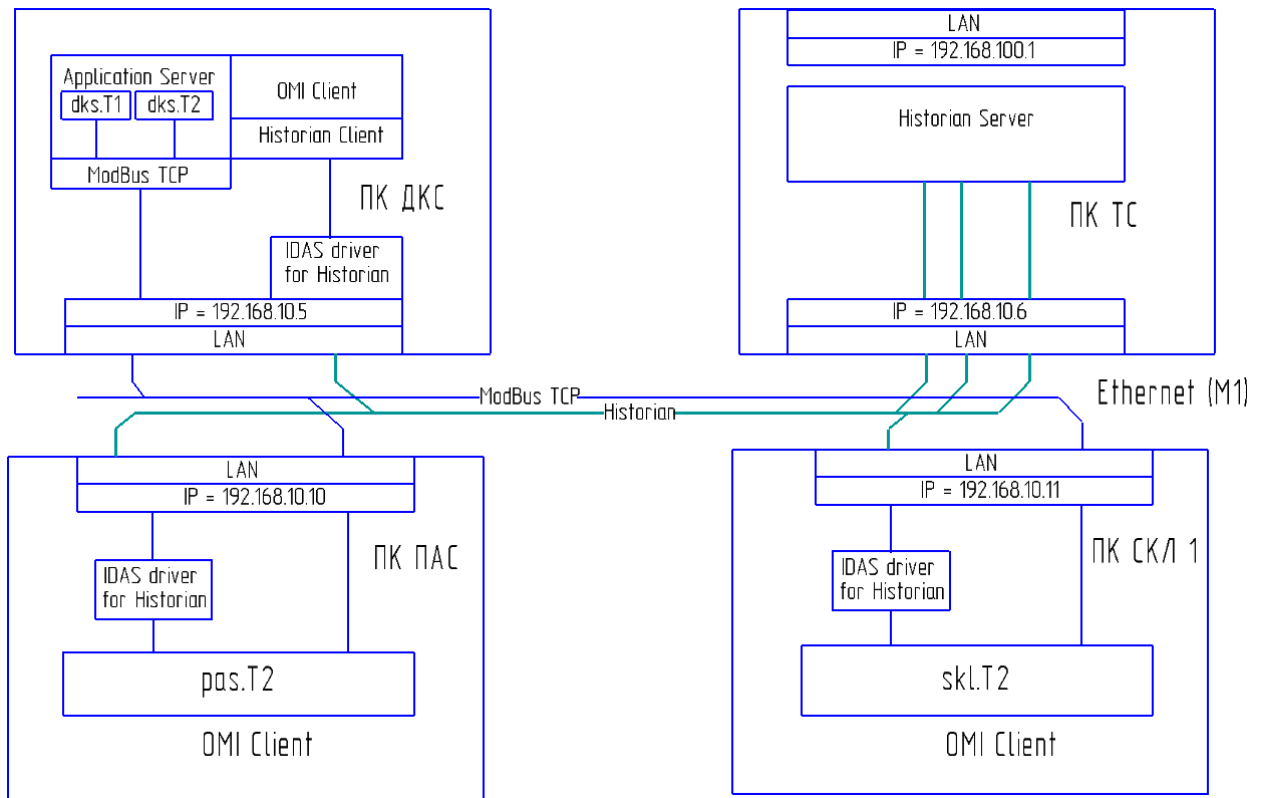


Рис. 3.2 – Інформаційна структура мережі

Схема інформаційної структури мережі допомагає визначити мережеві адреси, протоколи зв'язку та застосунки, які обмінюються даними у системі.

Оскільки в якості програмного забезпечення верхнього рівня обрано рішення AVEVA System Platform компоненти системи можна розподілити на декілька ПК, що підвищує загальну надійність системи. Оскільки ПК ТС виконує функцію збору та архівації даних на ньому встановлений Historian Server, який забезпечує надійний збір даних за допомогою власного внутрішнього протоколу IDAS, який є свого роду другим етапом захисту даних після протоколу DDE та SuiteLink, які використовуються для комунікації між польовим рівнем та самим сервером. ПК ДКС являється головною координуючою станцією у даній системі, тому він являється сервером для System Platform і на ньому в свою чергу встановлений Application Server, який призначений для розгортання клієнських машин в мережі, а оскільки дана станція також повинна мати доступ до даних та можливість моніторингу і керування процесом на ній додатково наявні Historian Client для відображення історичних даних з Historian Server, та OMI Client для відображення

мнемосхем оператора технологічного процесу з можливістю керування та перегляду. У свою ПК ПАС та ПК СКЛ 1, надсилають дані до Historian Server та Application Server і на них встановлені OMI Client для моніторингу та керування процесами в реальному часі.

### 3.2 – Схема автоматизації та специфікація

Пастеризаційно-охолоджувальна установка призначена для виготовлення пастеризованого молока. Об'єктом управління є пастеризаційно-охолоджувальна установка, які умовно можна поділити на декілька складових частин:

- Приймальний бак;
- Вакуумний деаератор;
- Гомогенізатор;
- Секція пастеризації;
- Секція рекуперації;
- Витримувач.

Показником ефективності є якість молока на виході з установки.

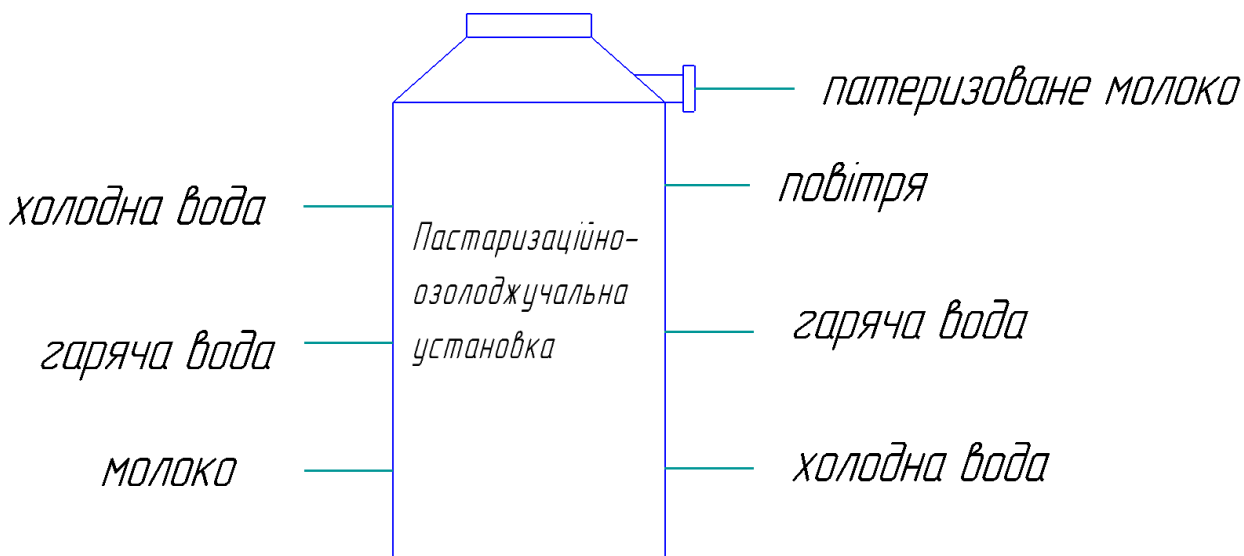


Рис. 3.3 – Загальна структура лінії матеріальних потоків

Технологічно пастеризація молочних продуктів складається з 5 процесів:

- 1) Процес стерилізації
- 2) Процес пастеризації
- 3) Процес мийки лугом
- 4) Процес мийки кислотою
- 5) Процес ополіскування

Щоб зрозуміти принцип роботи системи та розміщення датчиків та виконавчих механізмів розробляють схеми автоматизації технологічних процесів.

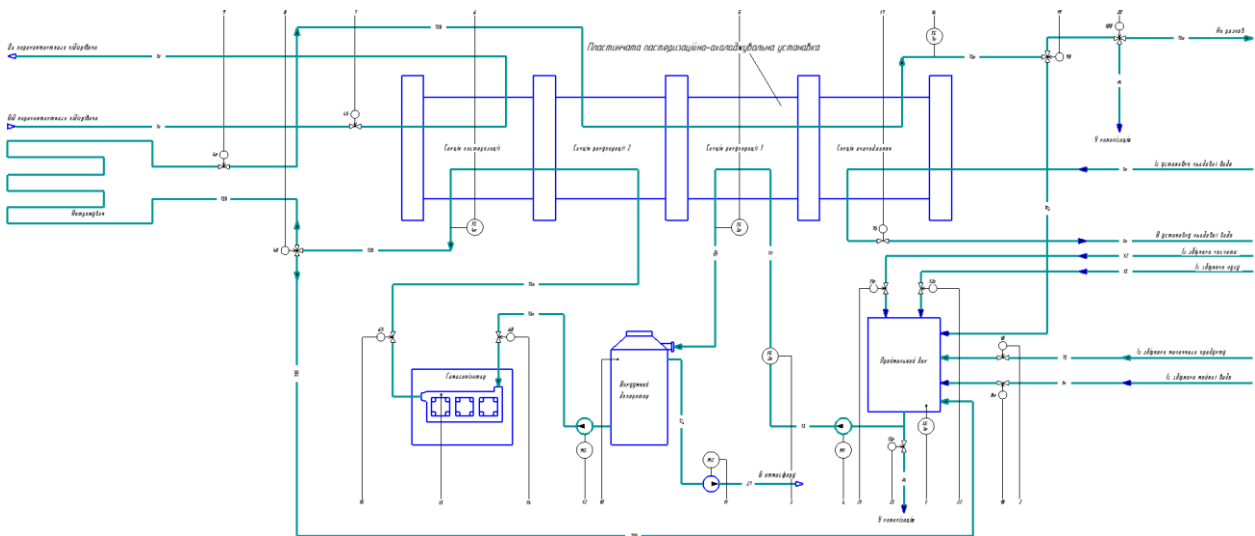


Рис. 3.4 – Схема автоматизації пастеризаційно-охолоджувальної установки

### Процес стерилізації

Процес стерилізації – це процес термічної дезінфекції установки. Запускається перед процесом пастеризації продукту.

При отриманні команди від оператора (команда надсилається із ПК ПАС – кнопка “Пуск” на дисплейній мнемосхемі) про початок технологічного процесу, починається процес стерилізації – приймальний бак наповнюється водою. При відсутності достатнього рівню ПЛК видає дискретний сигнал на електромагнітний клапан (8а), який піднімається із сідла і відкриває подачу свіжої води. Після цього ПЛК видає дискретні сигнали управління на електромагнітні клапани (4е, 6б, 6в), які підключають гомогенізатор та

витримувач. Потім командний аналоговий сигнал 4..20мА від ПЛК поступає на перетворювач частоти (2в), який виводить двигун М1 насосу продукту у визначений режим, встановлюючи необхідну швидкість обертання для забезпечення безперервної циркуляції води по контуру стерилізації. Зворотнім сигналом по даному контуру являється величина витрат води, які вимірюються електромагнітним витратоміром (2б), що встановлений на трубопроводі подачі продукту у секцію рекуперації.

Одночасно із двигуном М1 в рух приводиться двигун М3 насосу продукту перед гомогенізатором, який отримує дискретний сигнал управління від ПЛК через нереверсивний магнітний пускач (КМ1). При цьому, триходовий кран циркуляції приводиться в положення “у приймальний бак” за допомогою двохходового поворотного пневматичного циліндра (9б), який приводиться в рух подачею стисненого повітря від пневматичного розподільвача (9а), що, в свою чергу, отримує командний дискретний сигнал управління безпосередньо від ПЛК. Дискретний сигнал управління також подається на електромагнітний клапан витримувача (4е), який приводиться у відкрите положення. Після досягнення верхнього рівня води в приймальному баці клапан води відключається. Після початку циркуляції води включаються віртуальні регулятори температури продукту на виході із секцій рекуперації, пастеризації та охолодження. Відбувається нарощування температури води до температури пастеризації і її зниження до температури продукту перед лінією розливу. Це досягається зміною положення виконавчих механізмів (4в, 7в), які встановлюються на лінії подачі гарячої та льодової води відповідно. Температура вимірюється на відповідних трубопроводах перетворювачами температури (3а, 4а, 7а), які видають пропорційні величинам температур уніфіковані сигнали постійного струму 4..20мА, що надходять на вхідні аналогові клеми ПЛК. Уніфіковані сигнали тиску повітря 20..100кПа на виконавчі механізми подаються від електропневматичних перетворювачів типу (4б, 7б), які отримують командні сигнали постійного струму 4..20мА від ПЛК і перетворюють їх у стандартизований пневматичний вихід 20..100кПа

пропорційно до величини сигналу керування. На протязі процесу відбувається періодичне переключення триходового крану зворотньої лінії.

Як тільки температура води в установці досягає значення уставки температури стерилізації, починається відлік часу стерилізації. По закінченню відліку часу стерилізації перекривається подача гарячої та льодової води, звучить звукова сигналізація, яка реалізується встановленням на щиті сигнального дзвоника (НА). Після закінчення стерилізації відключаються гомогенізатор та витримувач, установка зупиняється (відключаються насоси, клапани переходять в початковий стан) – процес стерилізації закінчений. Під час стерилізації установка періодично перемикається між контурами звороту і циркуляції, що забезпечується видачею дискретного сигналу від ПЛК на пневматичний розподільвач (4г), який подає стиснене повітря в одну з порожнин двохходового поворотного пневматичного циліндра (4д), здійснюючи повертання триходового крану циркуляції у необхідне положення.

### Процес пастеризації

Процес пастеризації складається з 3 підпроцесів: нагрівання установки до температури пастеризації, виштовхування води, виштовхування продукту.

#### 1) Нагрівання установки

При запуску процесу пастеризації включаються двигуни насосів М1, М3, відкриваються електромагнітні клапани 6б, 6в гомогенізатора, триходовий кран зворотньої лінії переводиться у положення “на циркуляцію”, відкривається клапан витримувача (4е), а також включається віртуальний регулятор рівня у приймальному баці. Відкривається електромагнітний клапан 8а подачі води в приймальний бак. Після досягнення верхнього рівня води в приймальному баці клапан води 8а відключається. Включаються віртуальні регулятори температури продукту на виході із секцій пастеризації та охолодження, які залежно від температури води на виході із секцій регулюють положення виконавчих механізмів 4в, 7в. Як тільки температура

води досягає уставки температури пастеризації, звучить звуковий сигнал, що створюється сигнальним дзвоником (НА) та інформує оператора про те, що установка розігріта і можна починати підпроцес виштовхування води. Нагрів води (продукту) триває протягом усього процесу пастеризації.

## 2) Виштовхування води

Підпроцес виштовхування води полягає у витісненні продуктом води з установки в каналізацію. На початку програми виштовхування води триходовий кран циркуляції приводиться в положення “на розлив” за допомогою двохходового поворотного пневматичного циліндра (9б), який приводиться в рух подачею стисненого повітря від пневматичного розподільвача (9а), що, в свою чергу, отримує командний дискретний сигнал управління безпосередньо від ПЛК. Триходовий кран розливу приводиться в положення “у каналізацію” за допомогою двохходового поворотного пневматичного циліндра (10б) в комплекті з пневматичним розподільвачем (10а) – відбувається злив води в каналізацію.

Як тільки рівень у приймальному баці досягне нижнього встановленого значення, подається сигнал на електромагнітний клапан 1б подачі продукту в приймальний бак і включається таймер виштовхування води. Рівень продукту в приймальному баці автоматично підтримується протягом усього часу пастеризації продукту.

З приймального бака продукт продуктовим насосом подається в секцію регенерації 1, де відбувається попередній нагрів продукту до температури 65°C. Далі продукт поступає у вакуумний деаератор, після процесу деаерації продукт поступає в гомогенізатор, після гомогенізації продукт поступає в секцію регенерації 2, а потім в секцію пастеризації, де остаточно нагрівається до заданої температури пастеризації. Температура суміші на виході із ПОУ являється показником якості процесу пастеризації і у випадку відхилення температури суміші на  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  відбувається переключення триходового крану зворотньої лінії в трубопровід звороту за допомогою двохходового

поворотного пневматичного циліндра (4д), який отримує стиснене повітря від пневматичного розподільвача (4г). Пневматичний розподільвач переключається у робоче положення після подачі дискретного сигналу від ПЛК і подає у нагнітальну порожнину циліндра. При відновленні номінального значення параметру подача сигналу припиняється і розподільвач переходить у зворотнє положення, подаючи стиснене повітря у зворотню порожнину пневматичного циліндра.

Температурні показники пастеризації та охолодження регулюються аналогічно контуру нагріву/охолодження мийної води. Після пастеризаційно-охолоджувальної установки продукт потрапляє у витримувач на 25с і поступає в секції регенерації 2, 1 відповідно. Потім відбувається охолодження продукту в секції охолодження. Після закінчення відліку часу виштовхування води подача сигналу до пневматичного розподільвача крану розливу припиняється і останній набуває положення “на розлив” – автоматично починається підпроцес розливу продукту.

В процесі пастеризації суміш попередньо проходить вакуумну деаерацію для видалення сторонніх запахів із продукту. Величина вакууму регулюється на визначеному рівні у автоматичному режимі за рахунок зміни частоти електричного струму, що подається для живлення вакуумного насосу. Вимірювання вакуумметричного тиску здійснюється перетворювачем (5а), який видає уніфікований сигнал постійного струму 4..20мА на вхід контролера. Мікропроцесорний пристрій обробляє сигнал вимірювальної інформації і у випадку відхилення поточного значення вимірювальної величини від заданого видає пропорційний відхиленню командний сигнал 4..20мА на перетворювач частоти (5б), який змінює швидкість обертання двигуна, регулюючи кількість відкачуваних парів вологи і повітря.

### 3) Виштовхування продукту

Підпроцес виштовхування продукту проводиться аналогічно виштовхуванню води з включенням таймера виштовхування і звуковим сигналом після закінчення.

### Процес миття лугом і кислотою

Процеси миття лугом і кислотою запускаються після процесу пастеризації. Вони потрібні для повного видалення залишків молочних продуктів з установки. При запуску процесу миття лугом (кислотою) відкривається електромагнітний клапан (8а) подачі води в приймальний бак. Після досягнення верхнього рівня води в приймальному баці клапан води відключається. Відкриваються електромагнітні клапани (11а, 12а) подачі лугу або кислоти, запускається таймер дозування. Після закінчення дозування муючих розчинів включаються віртуальні регулятори температури розчину на виході із секцій пастеризації та охолодження – приводяться в рух пневматичні виконавчі механізми (4в, 7в), які встановлюються на трубопроводах подачі гарячої та льодової води відповідно. В залежності від температури води на виході із секції пастеризації і секції охолодження здійснюється регулювання положенням регулюючих органів. Як тільки температура води в установці досягає значення уставки температури мийки лугом (кислотою), починається відлік часу мийки. Під час мийки установка періодично перемикається між контурами повернення і циркуляції.

Після закінчення відліку часу мийки перекривається подача гарячої води, звучить звукова сигналізація. Всі електромагнітні клапани приводяться у початкове (закрите) положення.

Автоматичною системою управління передбачається автоматичний контроль величини тиску в пастеризаторі для запобігання виникненню аварійних ситуацій та своєчасного відключення апарата при перевищенні тиску гомогенізації. Надлишковий тиск вимірюється перетворювачем (6а), який надсилає уніфікований струмовий сигнал 4..20мА на вхідні аналогові клемки ПЛК.

### 3.3 Схема компоновання ПЛК

Для керування пастеризаційно-охолоджувальною установкою було обрано ПЛК компанії Schneider Electric серії Modicon M580. Процесорний модуль, який керує усім процесом та модулі розширення розташовуються на спеціальному шасі та комунікують по внутрішній шині Ethernet, що надає велику швидкість обміну даними між процесором та модулями, також таке компоновання дозволяє виконувати гарячу заміну модулів, які з часом можуть вийти з ладу.

Для керування процесом пастеризації було обрано процесорний модуль BME P58 2040, який підтримує кільцеву топологію мережі RSTP, він має вбудовану оперативну пам'ять 8 МБ для програм, 768 КБ для даних, 10 КБ для системної пам'яті та розширювану флеш-пам'ять 4 ГБ для зберігання даних[18]. На основному шасі також розташовуються модулі вводу виводу BMX AMI 0810 та BMX AMO 0802, відповідно 8 аналогових входів та 8 виходів. Для забезпечення живлення основного шасі використано блок живлення BMX CPS 4002, в якості основного шасі було обрано BME XBP 0400 на 4 слоти.

Окрім основного шасі в системі присутній віддалений острів для керування виконавчими механізмами, які керуються дискретними сигналами. У якості комунікаційного модуля було використано BMX CRA 31210, який налаштовано на комунікацію з основним процесором. Віддалений острів такого типу має ряд переваг на відміну від Advantys так як дані острови можна додавати без зупинки контролера, зміна програми ПЛК відбувається в процесі його роботи. Керування виконавчими механізмами здійснюється за допомогою модуля дискретних виходів BMX DDO 1602, в якості блоку живлення було обрано BMX CPS 2010. Всі модулі та блок живлення розташовані на шасі BME XBP 0400.

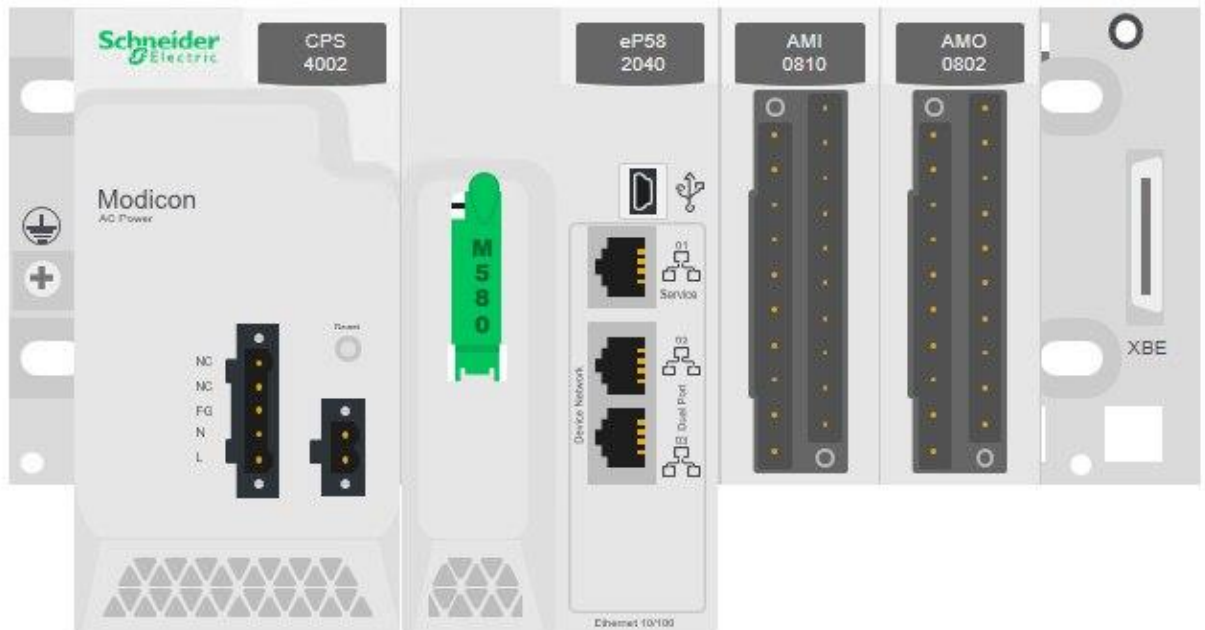


Рис. 3.5 – Схема компонування ПЛК

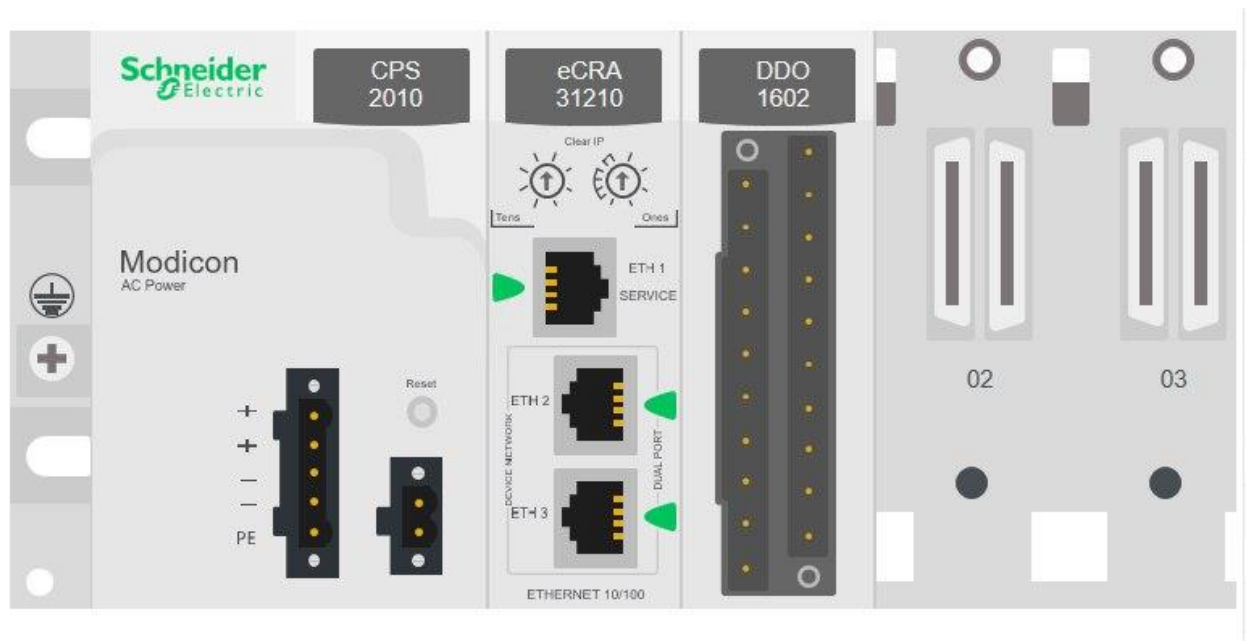


Рис. 3.6 – Схема компонування РІО

## Розділ 4 – Індивідуальне завдання

### 4.1 – Розробка розподіленої системи моніторингу

Для розробки ефективної системи керування, яка буде забезпечувати безвідмовну роботу необхідно розподілити її компоненти на кілька машин. Для виконання поставленої задачі у якості програмного запропоновано рішення AVEVA System Platform. Дане програмне забезпечення має велику масштабованість, клієнт-серверну архітектуру та можливість віддаленого моніторингу та керування технологічним процесом.

Оскільки в системі пастеризаційно-охолоджувальної установки присутні чотири ПК, необхідно мати загальну схему компонування системи.

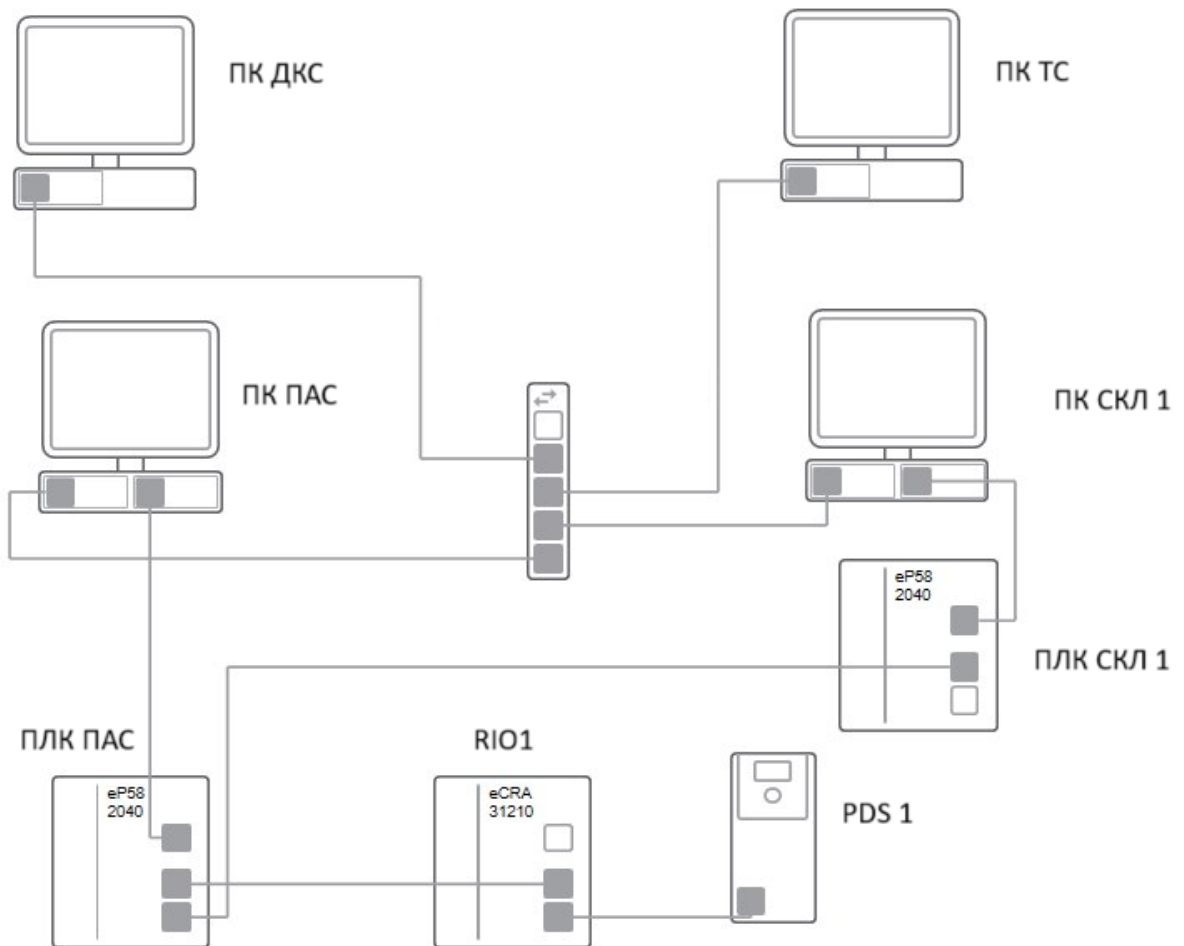


Рис. 4.1 – Схема компонування системи

Для реалізації системи моніторингу спочатку необхідно налаштувати комунікацію між ПЛК та операторськими центрами.



Рис. 4.2 – Налаштування зв'язку ПЛК ПАС з Historian



Рис. 4.2 – Налаштування зв'язку ПЛК СКЛ 1 з Historian

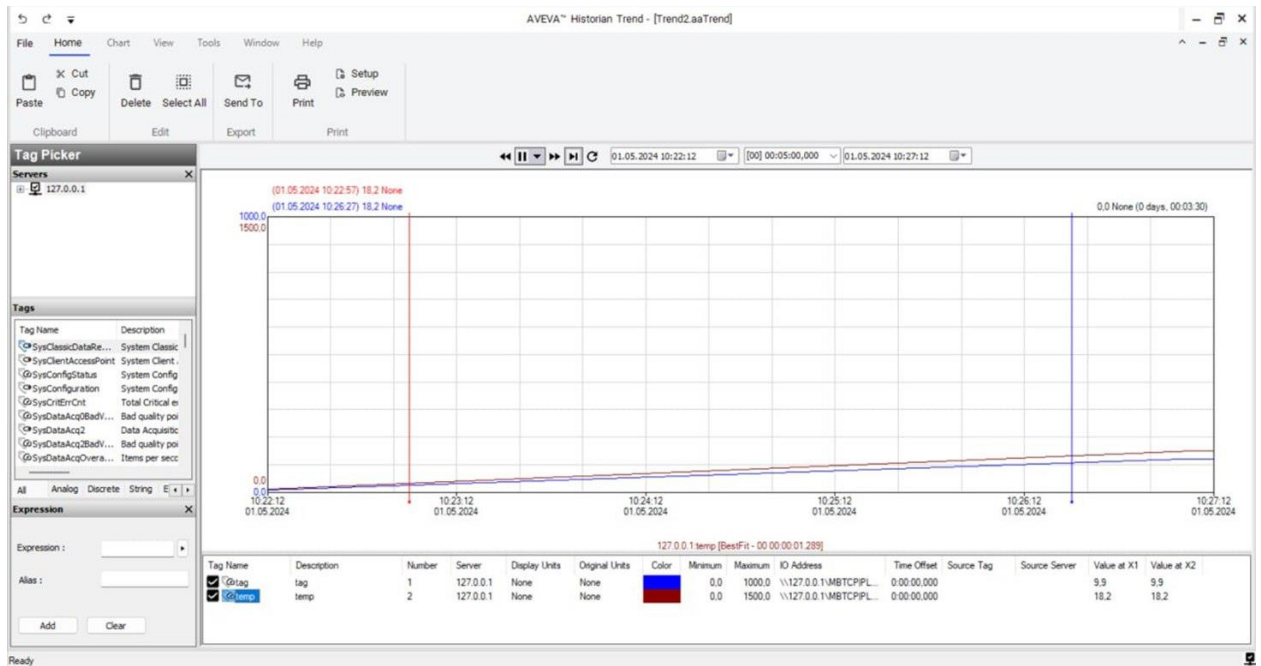


Рис. 4.3 – Відображення історичних даних у Historian Client

Historian є незалежним програмним забезпеченням і являється по суті промисловою базою даних, однак водночас це є невід'ємним компонентом System Platform.

Менеджмент та розгортання застосунків AVEVA можна виконувати через хмарну платформу AVEVA Connect, для зменшення часу на розробку системи певні функції такі як налаштування користувачів можна реалізовувати саме тут.

## CONNECT

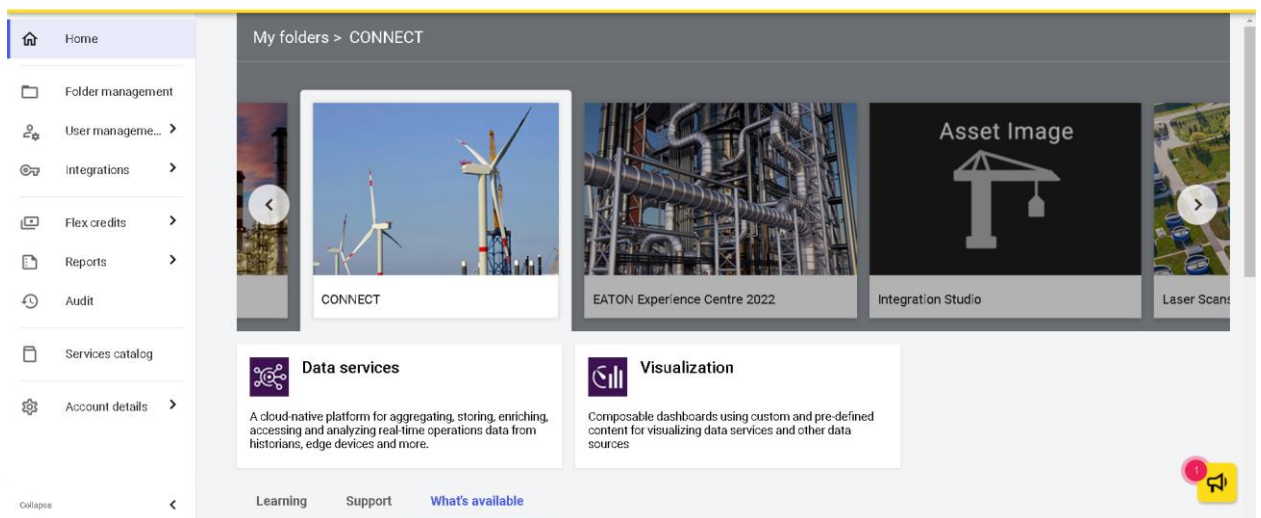


Рис. 4.4 – Інтерфейс AVEVA Connect

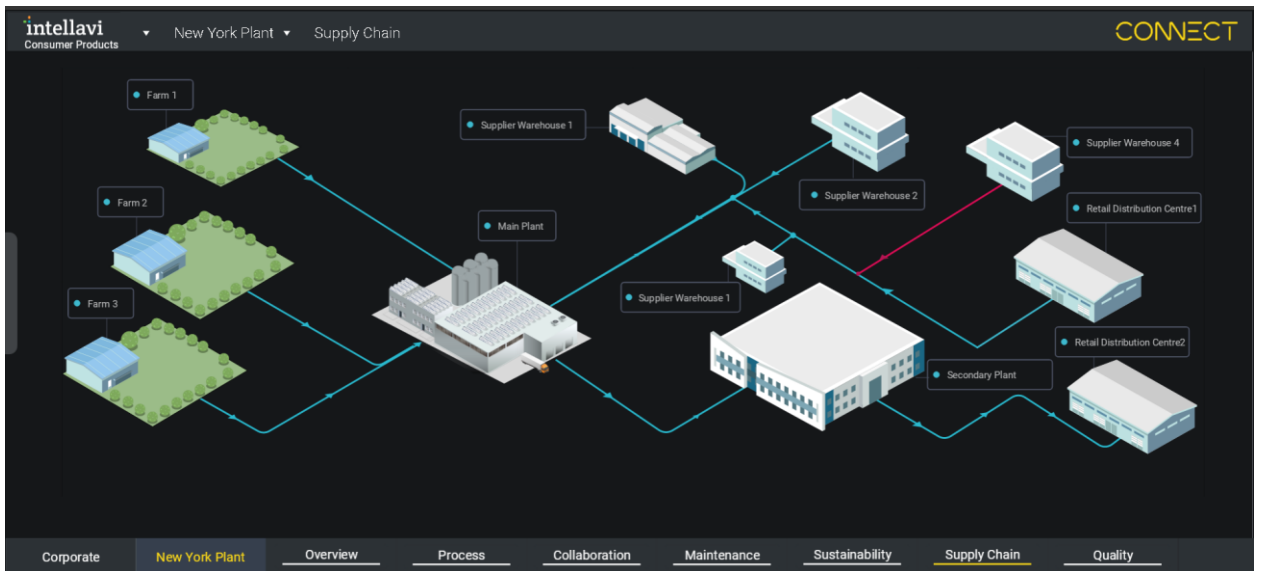


Рис. 4.5 – Приклад візуалізації у хмарі AVEVA Connect



Рис. 4.6 – Сторінка відображення технологічних параметрів



Рис. 4.7 – Сторінка відображення процесу

## Висновки

У ході досліджень та аналізу наявної інформації було створено ряд схем для загального розуміння побудови даної системи. На основі сучасних досягнень як у сфері технологічного обладнання так і в сфері програмного забезпечення було розроблено специфікацію ПЛК для керування всією системою та обрано програмне забезпечення для виконання всіх поставлених задач по збору/аналізу даних та керування і моніторингу технологічного процесу.

Для підвищення загальної ефективності системи та створення нової моделі для побудови подібних систем було використано комплекс програмних рішень для інтенсифікації процесу розробки та інтеграції даних систем на технологічні майданчики, та впровадження даних систем у існуючі виробництва.

Завдяки використанню AVEVA System Platform та хмарної платформи AVEVA Connect дана система має, як захищений доступ зі сторонніх мереж так і велику масштабованість і гнучкість.

У підсумку в цій роботі було продемонстровано найсучасніші досягнення у сфері автоматизації розроблено ефективну систему моніторингу та управління, яка відповідає сучасним промисловим стандартам як у сфері кібербезпеки так і в сфері відображення та ситуаційної обізнаності операторів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ельперін І.В. Промислові контролери: Навчальний посібник / І.В. Ельперін // К.: НУХТ. – 2003. – 320 с.
2. Пупена О. М. Програмування промислових контролерів в Unity PRO та Control Expert [Електронний ресурс] / Олександр Миколайович Пупена – Режим доступу до ресурсу: <https://pupenasan.github.io/controlexpertbook/>.
3. Пупена О. М. Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/HMI [Електронний ресурс] / Олександр Миколайович Пупена – Режим доступу до ресурсу: <https://pupenasan.github.io/hmibook/>.
4. Schneider Electric. AVEVA System Platform [Електронний ресурс] / Schneider Electric – Режим доступу до ресурсу: <https://www.se.com/ua/uk/product-range/39294612-aveva-system-platform/#overview>.
5. Пупена, О.М. [Електронний ресурс]: Автоматизовані системи управління виробництвом (MES-рівень): курс лекцій для студ. освіт. ст. "магістр" спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" спеціалізації "Інтегровані автоматизовані системи управління " денної та заочної форм навчання / О.М. Пупена, Р.М. Міркевич. – К.: НУХТ, 2016. – 135 с.
6. Про КРІ та ОЕЕ. Загальні розрахунки згідно ISO 22400-2. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://www.slideshare.net/pupenasan/kpi-oee>.
7. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навч. посібник / О.М.Пупена, І.В.Ельперін, Н.М.Луцька, А.П.Ладанюк.– К.:Ліра-К, 2011. – 552 с.
8. Zimmerman, H. J. Fuzzy Set Theory and Its Applications / H. J. Zimmerman. – Kluwer, Dordrecht, 1991. – 315 p.

9. Mamdani, E.H. Application of fuzzy algorithms for the control of a simple dynamic plant / E.H. Mamdani // Proc. IEEE 121, 1974. – P. 1585-1588.
10. Sugeno, M. Industrial applications of fuzzy control / M. Sugeno, ed. – North-Holland, Amsterdam, 1985. – 269 p.
11. Theoretical aspects of fuzzy control / H.T. Hguen, M. Sugeno, R. Tong, R.R. Yager. – New York, John Wiley & Sons, 1995. – 359 p.
12. Mudi, R.K. A self-tuning fuzzy PI controller / R.K. Mudi, N.R. Pal // Int. Jo. Fuzzy sets and systems. – № 115. – 2000. – P. 327 – 378.
13. Naeeni, A. F. Advanced Multi-Agent Fuzzy Reinforcement Learning. Master Thesis Computer Engineering, Nr: E3098D / Alireza Ferdowsizadeh Naeeni. – Dalarna University, Sweden, 2004. – 99 p.
14. Song, Q. Forecasting enrollments with fuzzy time series Part I. / Song Q., Chissom B. // Fuzzy Sets and Systems. – 1993. – №54. – P. 1–9.
15. Pedrycz, W. Granular correlation analysis in data mining / W. Pedrycz, M. Smith // Proc. IEEE Int. Fuzzy Systems Conf. – 1999. – III–1235 IH–1240.
16. A modi, A. & Plaza, E. Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. AI Communications, 7(i). – 1994. – pp.39-59.
17. AVEVA. AVEVA Connect [Электронный ресурс] / AVEVA – Режим доступа до ресурсу: <https://connect.aveva.com/#/account/home>.
18. Schneider Electric. PLC M580 [Электронный ресурс] / Schneider Electric – Режим доступа до ресурсу: <https://www.se.com/ua/uk/product/BMEP582040/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80-%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD-%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%80-m580-120-dio-rio/>.