

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем та комплексів
(повна назва кафедри (предметної циклової комісії))

Бакалаврська кваліфікаційна робота на темв:

**РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ
НА БАЗІ ПРОГРАМОВАНОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРА «VІРА»**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕМСА-216
Спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(цифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Блах Т. М.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., каф. КЕМСК

Жуков О. А.

(прізвище та ініціали)

«20» 05 2025 р.

Рецензент: к.т.н. доц., каф. ЕСЕЕМ

Шулє Ю. А.

(прізвище та ініціали)

«10» 05 2025 р.

Відпущено до захисту

зв. кафедри Мошноріз М. М.

«03» 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з __ сторінок формату А4, на яких є __ рисунків, __ таблиць, список використаних джерел містить __ найменування.

Метою роботи є розробка електромеханічної системи автоматизації технологічного процесу пастеризації молочних продуктів на базі програмованого логічного контролера VIPA, що дозволить підвищити ефективність виробництва, якість готової продукції та забезпечити стабільність технологічного процесу.

У загальній частині роботи розглянуто особливості сучасних технологій пастеризації молока, проаналізовано тенденції автоматизації харчової промисловості, обґрунтовано доцільність застосування ПЛК VIPA, у даному процесі.

У розрахунково-конструкторській частині виконано розробку функціональної та структурної схем системи автоматизації, розроблено алгоритм керування процесом пастеризації, виконано вибір та обґрунтування елементної бази системи. Запропоновано SCADA – інтерфейс для моніторингу та управління технологічними параметрами.

У технологічній частині розроблено алгоритм регулювання температури, продуктивності пастеризатора та забезпечення відповідності до санітарно-гігієнічних нормам. Наведено методику пошуку можливих несправностей системи автоматизації.

У розділі охорони праці опрацьовано такі питання, як потенційні небезпечні фактори при експлуатації пастеризатора, розглянуто вплив шкідливих чинників на персонал, наведено рекомендації щодо поліпшення умов праці, а також розглянуто вимоги пожежної та електробезпеки.

Ключові слова: автоматизація, пастеризація молока, VIPA, SCADA, ПЛК, електромеханічна система, харчова промисловість.

ABSTRACT

The bachelor's qualification work consists of __ A4-format pages, including __ figures, __ tables, and a list of __ references.

The purpose of the work is to develop an electromechanical automation system for the technological process of dairy product pasteurization based on the VIPA programmable logic controller (PLC), which will improve production efficiency, ensure consistent product quality, and stabilize the technological process.

The general part of the work examines the features of modern milk pasteurization technologies, analyzes automation trends in the food industry, and substantiates the feasibility of using VIPA PLCs in this process.

In the design and calculation part, the functional and structural diagrams of the automation system are developed, the control algorithm for the pasteurization process is designed, and the selection and justification of the system's hardware components are performed. A SCADA interface is proposed for monitoring and controlling technological parameters.

The technological section develops an algorithm for controlling temperature, pasteurizer capacity, and compliance with sanitary and hygienic standards. A methodology for troubleshooting possible malfunctions of the automation system is provided.

The occupational safety section addresses potential hazards during the operation of pasteurization equipment, considers the impact of harmful factors on personnel, and provides recommendations for improving working conditions, as well as discusses fire and electrical safety requirements.

Key words: automation, milk pasteurization, VIPA, SCADA, PLC, electromechanical system, food industry.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУ ТП — автоматизована система управління технологічним процесом

VIPA — Visual Industrial Programmable Automation

ПЛК — програмований логічний контролер

SCADA — Supervisory Control and Data Acquisition

HMI — Human-Machine Interface

ПО — програмне забезпечення

КПА — контрольно-вимірювальні прилади та автоматика

ПІД-регулятор — пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор

ТЕО — техніко-економічне обґрунтування

МЕ — модуль введення/виведення

МП — молочні продукти

ГІС — графічний інтерфейс системи

ОП — охорона праці

ПЕВ — принципова електрична схема

ПНС — пастеризаційно-нагрівальний сектор

LTLT — Low Temperature Long Time (низькотемпературна довготривала пастеризація)

HTST — High Temperature Short Time (високотемпературна короткочасна пастеризація)

UHT — Ultra High Temperature (ультрависокотемпературна пастеризація)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ	8
1.1 Технологічний процес пастеризації молока	8
1.2 Класифікація пастеризаційного обладнання для молока.....	9
1.3 Огляд програмованих логічних контролерів (ПЛК) для задач автоматизації	13
1.4 Вибір ПЛК VIPA та програмного забезпечення SCADA	15
2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	18
2.1 Технологічна схема	18
2.2 Функціональна схема автоматизації	20
2.3 Структурна схема системи автоматизації.....	24
2.4 Принципова електрична схема	25
2.5 Програмування ПЛК VIPA	27
2.6 Розробка керування алгоритмом процесу пастеризації	34
2.7 Розробка SCADA – інтерфейсу системи пастеризації	36
3 РОЗРАХУНОК І ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	38
3.1 Вибір датчиків температури, тиску і рівня	38
3.2 Вибір виконавчих механізмів	41
3.3 Розрахунок режимів роботи.....	43
3.3.1 Розрахунок витрати молока	43
3.3.2 Розрахунок часу витримки.....	43
3.3.3 Розрахунок температурних режимів	44
3.3.4 Розрахунок швидкості потоку у трубопроводі	44
3.4 Розрахунок регуляторів замкнутих контурів.....	44
3.5 Імітаційне моделювання системи автоматизації	45
4 ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	48
4.1 Аналіз витрат на впровадження	48
4.2 Очікуваний економічний ефект.....	50
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	52
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта.....	53
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації експлуатації об'єкта.....	53

5.1.2 Електробезпека	53
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	55
5.2.1 Мікроклімат	55
5.2.2 Склад повітря робочої зони	55
5.2.3 Виробниче освітлення	56
5.2.4 Виробничий шум	57
5.2.5 Виробничі вібрації	57
5.2.6 Виробничі випромінювання	58
5.3 Пожежна безпека	58
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63
Додаток А Технічне завдання	65
Додаток Б Графічна частина	68
Додаток В Ілюстративна частина	72

ВСТУП

Актуальність теми. За сучасних умов розвитку харчової промисловості питання забезпечення високої якості та безпеки молочних продуктів набувають особливого значення. Одним із ключових виробничих етапів є пастеризація молока, яка спрямована на знищення патогенних мікроорганізмів і подовження терміну зберігання продукції. Проте цей процес потребує надзвичайно точного контролю параметрів, зокрема температурного режиму і тривалості.

Автоматизація процесу пастеризації дозволяє досягти стабільності виробничого циклу, підвищити ефективність використання енергоресурсів і мінімізувати вплив людського фактору. Використання сучасних програмованих логічних контролерів (ПЛК), таких як VIPA, у поєднанні з SCADA-системами відкриває можливості для створення інтелектуальних систем управління в галузі харчових технологій.

Мета і завдання роботи. Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є розробка електромеханічної системи автоматизації процесу пастеризації молочних продуктів з використанням ПЛК VIPA. Це передбачає забезпечення оптимального управління технологічними параметрами та підвищення якості кінцевої продукції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз сучасних методів автоматизації процесу пастеризації;
- обрати оптимальну архітектуру автоматизованої системи;
- розробити функціональну та принципову електричні схеми системи;
- створити алгоритм управління процесом пастеризації;
- розробити SCADA-інтерфейс для моніторингу та управління системою;
- здійснити розрахунок і вибір елементної бази системи;
- виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень;
- опрацювати заходи з охорони праці при експлуатації системи.

Об'єкт та предмет дослідження є технологічний процес пастеризації молочних продуктів, тоді як предметом дослідження є електромеханічна система автоматизації цього процесу, що базується на використанні ПЛК VIPA.

Методи дослідження. У роботі застосовано аналітичний підхід до вивчення існуючих методів автоматизації, математичне моделювання, методи проектування автоматизованих систем управління. Для розробки електричних схем і SCADA-інтерфейсів використано спеціалізоване програмне забезпечення.

Практична цінність роботи. Результати дослідження можуть бути реалізовані на підприємствах харчової промисловості для впровадження сучасних автоматизованих систем управління процесом пастеризації молока. Запропоновані технічні рішення сприяють поліпшенню якості продукції, зниженню енергоспоживання та підвищенню рівня безпеки виробництва, що має значний економічний та технологічний ефект.

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ

1.1 Технологічний процес пастеризації молока

У молочній промисловості, пастеризація молока постала як нагальна потреба для гарантування відмінної якості товарів. Цей процес, який має на меті нейтралізувати згубні мікроорганізми та утримати корисні якості молока, відіграє ключову роль у безпечності вживання та збільшенні терміну придатності.

Існують деякі головні методи пастеризації молока, що знаходять застосування на сучасних підприємствах:

Традиційна пастеризація: молоко нагрівають до температури приблизно 63-72°C та витримують упродовж 30 хвилин. Такий спосіб нищить більшість шкідливих мікроорганізмів, зберігаючи переважну частину корисних складових молока.

Високотемпературна короточасна пастеризація (HTST): молоко прямує через теплообмінник, де нагрівається до 72-75°C за 15-20 секунд. Цей метод результативно нейтралізує мікроорганізми, зберігаючи водночас більшість корисних якостей молока.

Ультра пастеризація (UHT): молоко нагрівають до температурного діапазону від 135°C до 150°C, витримуючи впродовж лічених секунд, після чого стрімко охолоджують. Цей спосіб дає змогу зберігати молоко без потреби в охолодженні протягом тривалого часу.

Пастеризація молока має ряд ключових переваг та суттєвих аспектів:

- Ліквідація шкідливих мікроорганізмів: пастеризація допомагає знищити патогенні бактерії, віруси та інші мікроорганізми, що можуть призвести до захворювань споживачів.
- Збереження корисних якостей: належно виконана пастеризація сприяє збереженню корисних властивостей молока, зокрема вітамінів та мінералів.

- Термін зберігання: пастеризація подовжує термін зберігання молочних виробів, дозволяючи їм зберігати свою якість протягом тривалого часу.

- Безпека споживання: після пастеризації молочні продукти стають безпечними для споживання, зменшуючи ймовірність захворювань.

Досліджуючи процес ферментації, у 1857 році *Луї Пастер* обґрунтував його біологічний характер. У своїх дослідженнях він дійшов висновку, що бродіння виникає внаслідок діяльності мікроорганізмів – бактерій, які функціонують без кисню. У 1861 році Пастером було запропоновано метод зберігання рідких речовин шляхом термічної обробки, що згодом отримав назву «пастеризація».

Пастеризація – це процес одноразового нагрівання та витримування переважно рідких харчових продуктів чи речовин до температур у діапазоні 50-65 °C (конкретна температура залежить від виду продукту) протягом 20-30 хвилин або до температур 70-80 °C протягом кількох десятків секунд.

За свої визначні дослідження в 1861 році Пастер удостоївся премії Дженнера від Французької Академії наук та медалі Гумфорда від Лондонського королівського товариства.

1.2 Класифікація пастеризаційного обладнання для молока

Найбільш детальну систему класифікації пастеризаторів для молока та молочних виробів створила А.Ю. Краснова [2]. У цій системі значна увага приділяється паровим пастеризаторам. Проте, попри їхню популярність, вони мають суттєві недоліки, які практично виключають можливість їх використання на малих фермерських господарствах. Основними проблемами є необхідність облаштування котельного господарства та низький рівень теплової ефективності таких пристроїв.

На рисунку 1.1 представлено вдосконалену схему класифікації пастеризаційного обладнання, яка фокусується на пристроях, призначених для пастеризації молока на невеликих фермах. Відповідно до цієї схеми апарати для

пастеризації молока поділяються залежно від методу впливу на продукт і режиму роботи установок.



Рисунок 1.1 – Схема класифікації пастеризаторів молока

За характером впливу на продукт пристрої для нагрівання поділяють на апарати прямого та непрямого нагрівання. Агрегати непрямого нагріву, своєю чергою, класифікують на теплові й електричні.

У сучасній харчовій промисловості процеси нагрівання здебільшого здійснюються з використанням різних теплоносіїв, серед яких найбільш поширеними є водяна пара, гаряча вода, нагріте повітря, димові гази, органічні речовини з високою температурою кипіння та електричний струм. Серед перелічених теплоносіїв найбільш популярною залишається насичена пара завдяки її високому коефіцієнту тепловіддачі під час конденсації. Проте значним недоліком насиченої пари є збільшення тиску зі зростанням температури, що ускладнює її застосування в певних умовах.

Пастеризація є однією з основних технологічних операцій у харчовій і переробній промисловості. Вона спрямована на зниження кількості

мікроорганізмів у продуктах, інактивацію ферментів та створення умов для суттєвого подовження термінів зберігання і реалізації харчових продуктів. Ця технологія відіграє важливу роль не лише на підприємствах харчової промисловості, а й у господарствах агропромислового комплексу, передусім у молочному виробництві.

Ефективність пастеризації безпосередньо залежить від двох ключових параметрів: температури обробки та її тривалості. Метод тривалої пастеризації, який реалізується за допомогою ванн із теплообмінними сорочками, нині майже не використовується через низьку продуктивність такого обладнання, значні витрати пари та відносно низький коефіцієнт корисної дії.

На сьогодні найбільш поширеним рішенням для пастеризації продуктів є пластинчасті пастеризаційно-охолоджувальні установки, які забезпечують високу ефективність та економічність процесу. Трубчасті пастеризаційні установки забезпечують нагрівання продуктів у закритому тонкошаровому потоці, застосовуючи високі швидкості руху рідини та автоматизуючи робочі операції. Такий підхід дозволяє виконувати пастеризацію під впливом високого тиску з досягненням температур, що перевищують 100 °С.

Однією з вагомих переваг трубчастих апаратів є зменшена кількість гумових ущільнень порівняно з пластинчастими аналогами, що значною мірою полегшує їхнє технічне обслуговування та зменшує час, необхідний для виконання ремонтних робіт.

Пластинчасті пастеризаційно-охолоджувальні агрегати стали найпоширенішими у сфері переробки молочних продуктів. Їх використовують для швидкої пастеризації обробки молока у вигляді тонкого шару в закритій проточній системі, після чого проводиться короткотривала витримка та подальше охолодження. У таких установках збільшення швидкості руху молока нерозривно пов'язане зі зростанням гідравлічного опору, що важливо враховувати під час їхньої експлуатації.

Негативною характеристикою пластинчастих апаратів, разом із електропастеризаторами, є схильність до утворення накипу на робочих

поверхнях. Для запобігання цьому небажаному явищу необхідно знижувати температуру стінок, через які здійснюється теплопередача до продукту. Водночас майже у всіх типах нагрівачів тепловіддача реалізується через проміжний теплоносій, що призводить до ускладнення конструкції обладнання, збільшення виробничих витрат та енергетичних втрат і створює певні труднощі під час експлуатації.

Додатковий інтерес викликає група пастеризаційних апаратів із прямим нагріванням продукту. До таких пристроїв належать СВЧ-опромінювачі, електродні пастеризатори та новітнє обладнання з гідродинамічними нагрівачами. Особливо зазначені апарати актуальні як для великих молокопереробних підприємств, так і для дрібних фермерських господарств чи особистих підсобних домогосподарств.

Гідродинамічні нагрівачі функціонують за принципом тертя рідинних шарів між собою та об поверхню обладнання, забезпечуючи гідродинамічний вплив на молоко. Така технологія дозволяє використовувати дискові чи барабанні пристрої, а поверхня робочих частин може бути гладкою або комірчастою. Серед барабанних апаратів відомі циліндричні та конічні конструкції.

Окрім цього, існують пристрої, в яких теплогенерація забезпечується не лише тертям рідини, а й за рахунок турбулентності потоку. До таких апаратів належать гідромуфти у стоповому режимі та деякі їх модифіковані версії.

З огляду на класифікацію зазначених пристроїв і технологічні особливості термічної обробки молока, найбільш доцільним для невеликих фермерських господарств є застосування апаратів прямого нагрівання рідин. Серед них гідродинамічні нагрівачі вирізняються низькою енерго- та матеріалоемністю, а також високою ефективністю. Їх головною перевагою є безпосереднє перетворення механічної енергії на теплову, що дозволяє спростити конструкцію обладнання і оптимізувати його роботу. Таке устаткування має компактні розміри, особливу мобільність, низьке використання металу та простоту в експлуатації.

Таким чином, незалежно від типу застосовуваного пастеризаційного обладнання, актуальною є задача розробки гнучких автоматизованих систем керування, які забезпечують точний контроль температурних режимів та оптимізацію технологічного процесу. В наступному підрозділі буде розглянуто можливості використання сучасних програмованих логічних контролерів для автоматизації процесів пастеризації.

1.3 Огляд програмованих логічних контролерів для задач автоматизації

Одним із ключових компонентів сучасних систем автоматизації технологічних процесів, особливо у харчовій промисловості, є програмовані логічні контролери (ПЛК). Вони дозволяють гнучко управляти обладнанням, реалізовувати складні алгоритми регуляції та інтегрувати автоматизаційні рішення у загальну інфраструктуру виробництва.

Основні вимоги до ПЛК для автоматизації процесу пастеризації молочних продуктів включають:

- достатню кількість каналів вводу/виводу;
- підтримку як аналогових, так і цифрових сигналів;
- високу надійність та стабільність у робочих умовах;
- можливість інтеграції із SCADA-системами;
- підтримку основних промислових протоколів зв'язку (Modbus, ProfiNet, EtherCAT тощо);
- наявність зручного програмного забезпечення для розробки та діагностування.

На ринку промислової автоматизації доступні контролери таких провідних брендів:

1. Siemens (S7-1200, S7-1500) — універсальні рішення із широкими можливостями інтеграції та потужною екосистемою (TIA Portal).

2. VIPA (серії 300S, 100V) — контролери зі швидкою обробкою даних та легким підключенням периферійного обладнання, сумісні з лінійкою Siemens S7.

3. Schneider Electric (Modicon M221, M241) — компактні пристрої із вбудованими комунікаційними функціями та енергоощадним дизайном.

4. Allen-Bradley (CompactLogix, MicroLogix) — рішення для задач із високими вимогами до надійності та безпеки.

5. Omron (CP1, CJ2, NX1P) — модульні контролери із широкими можливостями налаштування для автоматизації різних процесів.

Для пастеризації молочних продуктів важливо використовувати ПЛК із підтримкою аналогових каналів через необхідність обробки сигналів від термодатчиків для температурного контролю. Досягнення точного регулювання температури потребує застосування ПД-регуляторів, які повинні бути реалізовані у середовищі програмування контролера.

У цьому випадку для проектування системи автоматизації було обрано програмований логічний контролер VIPA 314SC/DPM зображений на (рисунку 1.2)

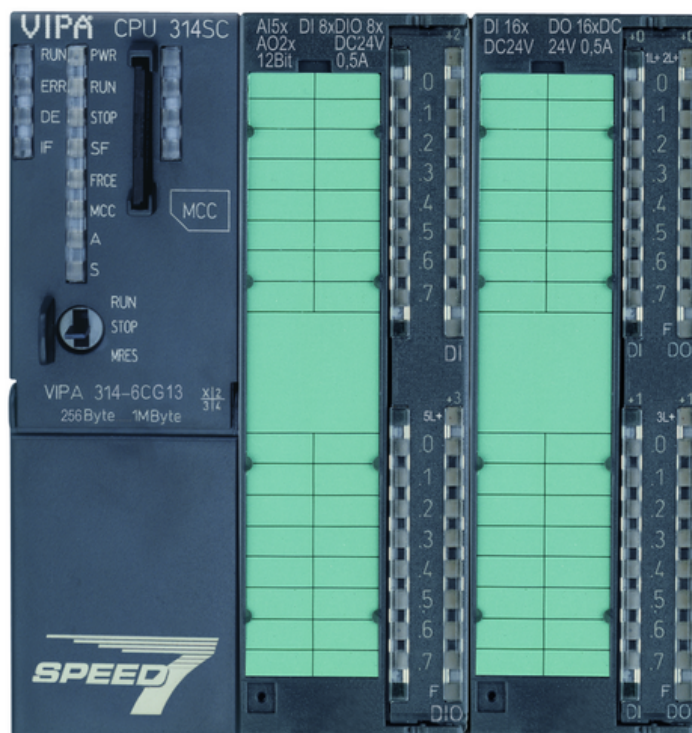


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд ПЛК VIPA 314SC/DPM

Переваги контролера:

- повна сумісність із платформою STEP 7 від Siemens, що спрощує розробку програмного забезпечення;
- висока швидкість виконання команд (до 0,01 мкс);
- підтримка до 1024 цифрових і 256 аналогових каналів вводу/виводу із можливістю розширення;
- інтегровані комунікаційні інтерфейси (MPI/DP, Ethernet, Modbus);
- підтримка ПД-регуляторів і зручна інтеграція зі SCADA-системами.

Застосування VIPA у складі системи автоматизації процесу пастеризації дає змогу забезпечити необхідну гнучкість і надійність управління технологічними параметрами. Це є ключовим фактором для досягнення високої якості кінцевого продукту.

1.4 Вибір ПЛК VIPA та програмного забезпечення SCADA

Для автоматизації процесу пастеризації молочних продуктів у цьому проекті обрано програмований логічний контролер VIPA 314SC/DPM серії 300S. Він сумісний із платформою STEP 7, підтримує промислові мережеві протоколи та забезпечує високу продуктивність, що дозволяє ефективно реалізовувати складні алгоритми керування технологічними процесами.

Основні критерії вибору ПЛК для пастеризації:

- забезпечення точного підтримання температурного режиму;
- робота з аналоговими та цифровими сигналами датчиків і виконавчих пристроїв;
- інтеграція з SCADA-системою для моніторингу та візуалізації процесу;
- підтримка ПД-регулювання для стабільності температурного контуру.

Контролер VIPA 314SC/DPM відповідає всім зазначеним вимогам і має низку додаткових переваг:

- інтегровані цифрові й аналогові входи/виходи, що скорочує кількість зовнішніх модулів;
- підтримка протоколів Modbus RTU/TCP для зручного підключення периферійних пристроїв;

- компактність і низьке енергоспоживання;
- висока надійність у промислових умовах.

Для розробки програми управління планується використати середовище STEP 7 або його сучасний аналог TIA Portal. Це забезпечить зручність у створенні програмного коду, налаштуванні параметрів ПД-регуляторів і організації обміну даними з SCADA-системою.

Як SCADA-систему для візуалізації процесу пастеризації обрано WinCC (Siemens), яка має широкі можливості інтеграції з ПЛК VIPA та дозволяє:

- проектувати зручний операторський інтерфейс;
- архівувати та переглядати історію технологічних параметрів;
- впроваджувати системи сигналізації й діагностики несправностей;
- забезпечувати віддалений моніторинг.

Загальна структура автоматизованої системи управління процесом пастеризації молока представлена на рисунку 1.3.

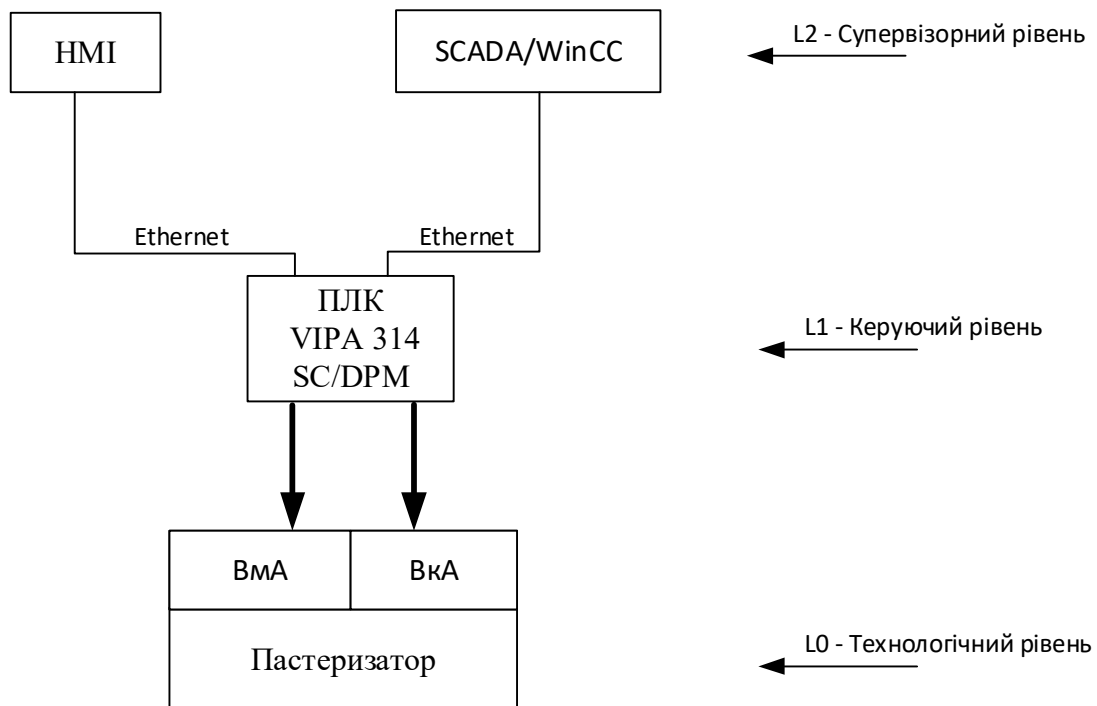


Рисунок 1.3 – Структурна схема ПЛК VIPA з SCADA системою та обладнанням

Структура інтеграції ПЛК VIPA зі SCADA-системою WinCC дозволяє створити гнучку, масштабовану та ефективну систему автоматизації, яка

забезпечує необхідний рівень якості управління технологічним процесом пастеризації молочних продуктів.

2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Технологічна схема

Пастеризатор — пристрій, який забезпечує знищення мікроорганізмів у молоці шляхом впливу високих температур, уникаючи процесу кипіння. В подальшому розглянуто особливості пластинчастого пастеризатора. Пластинчасті пастеризатори вважаються найбільш універсальними та популярними у сфері харчової промисловості. Одним із їхніх головних переваг є здатність зберігати первинний смак молока та переважну частину його поживних властивостей. Це стає можливим завдяки тому, що під час пастеризації виключається контакт молока з повітрям. Ці моделі призначені для швидкого і ефективного оброблення молока у безперервному потоці із мінімальною тривалістю витримування і подальшим охолодженням. Типову схему функціонування пластинчастого пастеризатора представлено на рисунку 2.1.

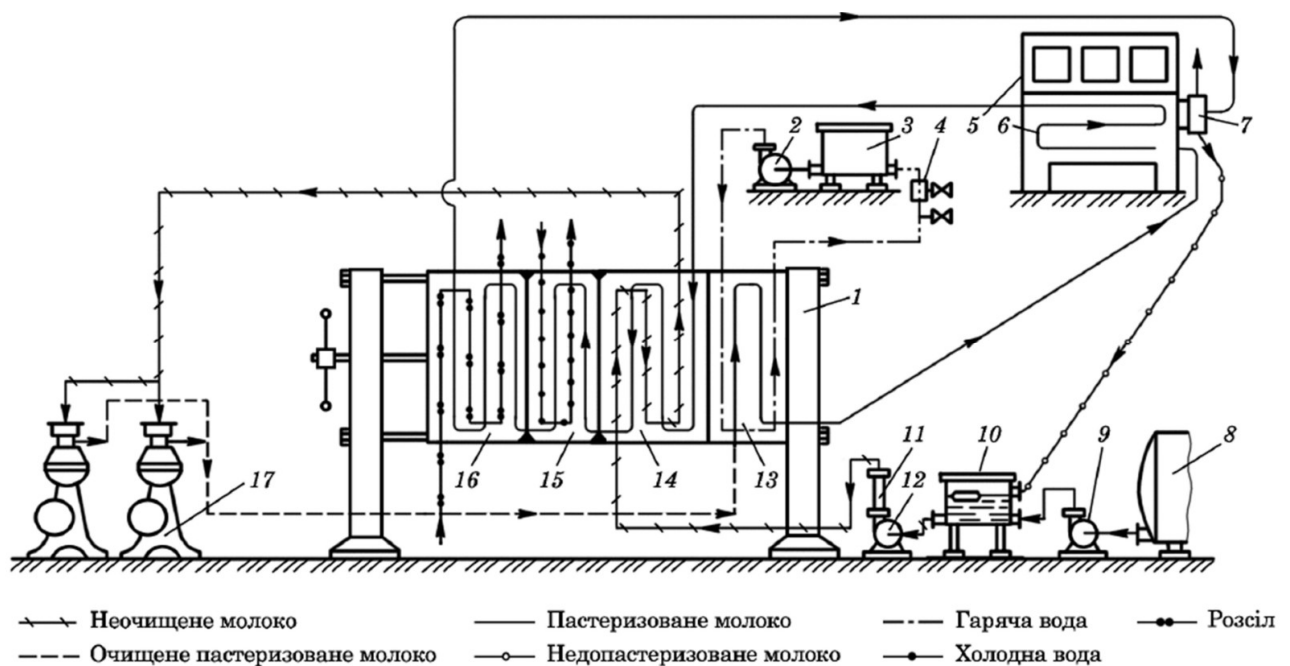


Рисунок 2.1 — Технологічна схема установки для пастеризації та охолодження

Перелік обладнання: 1 — теплообмінник; 2 — насос для гарячої води;

3 — бойлер; 4 — інжектор; 5 — панель керування; 6 — трубчастий витримувач; 7 — клапан автоматичного повернення непастеризованого молока; 8 — резервуар; 9 — молочний насос; 10 — проміжна ємність; 11 — стабілізатор потоку; 12 — насос; 13 — секція пастеризації; 14 — секція рекуперації; 15 —

секція охолодження водою; 16 — секція охолодження розсолем; 17 — молоко очисники. Молоко за допомогою насоса потрапляє в зрівнювальний бак, після чого через регулятор потоку подається до секції рекуперації. Тут воно попередньо нагрівається до 65–70 °С завдяки тепловій енергії гарячого пастеризованого молока, що рухається назустріч. Підготовлене молоко спрямовується до молоко-очисників, які працюють поперемінно, і під тиском надходить у секцію пастеризації. У цій секції воно нагрівається до 72–80 °С за допомогою гарячої води, яка циркулює в замкнутій системі бойлерно-інжекторного блоку. Далі молоко потрапляє в трубчастий витримувач, після чого повертається до секції рекуперації.

Відтак молоко поступово проходить через секції водяного і розсільного охолодження, де температура знижується. Після цього воно виходить з апарата охолодженням до 4 °С через відвідний клапан. У випадку, якщо температура пастеризації виявляється нижчою за задану, автоматичний клапан спрямовує непастеризоване молоко назад у зрівнювальний бак для повторного циклу пастеризації.

Таблиця 2.1 – Технологічні параметри

Назва параметру	Діапазон вимірювань	Допустима похибка
Витрати сирого молока	6500л/год	±2%
Витрати пастеризованого молока	6500л/год	±2%
Витрати питної води	5000л/год	±2%
Витрати пари в першому теплообміннику	95 кг/год	±2%
Витрати пари в другому теплообміннику	635 кг/год	±2%

Продовження таблиці 2.1

Температура молока на вхіді в пастеризатор	4-6	±2%
Температура молока на виході із пастеризатора	6-98	±2%
Тиск молока на виході з пастеризатора	0-5 бар	±2%
Температура молока на у витримувач	72-75	±2%
Тиск сирого молока в баку	0-2 бар	±2%
Тиск теплоносія в секції пастеризації	100-110	±2%
Провідність молока	1.4-4.5 мСм/см ²	±2%

2.2 Функціональна схема автоматизації

Система автоматизації процесу пастеризації молочних продуктів має забезпечувати повний цикл автоматизованого управління всіма етапами пастеризації. Це включає підготовку обладнання, проведення пастеризації, контроль якості продукції, видалення залишків та автоматичне очищення.

Основні функції системи автоматизації такі:

- Автоматичне регулювання температурних режимів відповідно до технологічних вимог.
- Контроль і управління рівнем продукту для забезпечення стабільності процесу.
- Моніторинг та регулювання витрати продукту.
- Автоматизація переходів між різними технологічними режимами, такими як вода, молоко та мийка.
- Забезпечення візуалізації та моніторингу процесу через інтегровану SCADA-систему.

- Архівування параметрів процесу із можливістю сигналізації у разі відхилень від встановлених норм.

Далі наведено детальний опис роботи пастеризатора в автоматизованому режимі.

Пастеризатор здійснює підготовку та обробку продукту у кілька послідовних технологічних режимів, з використанням автоматизованого керування.

На початковому етапі система переходить у режим циркуляції із застосуванням води для прогріву обладнання. Рівень води в зрівнювальному баку підтримується автоматично за допомогою регулювального клапана (15а) до моменту стабілізації циркуляції. Холодна вода температурою 4–7 °С насосом (М4) подається у першу секцію регенерації, де поступово нагрівається до 65 °С. При цьому гомогенізатор вимкнений, а байпасний клапан (35а) відкритий.

З другої секції регенерації вода надходить у секцію пастеризації, проходячи попередній нагрів до 70 °С за допомогою насоса (М3). Подальший нагрів до 72-75 °С здійснюється у секції пастеризації за допомогою теплообмінника, де використовується гаряча вода, що підігрівається паром через регулювальний клапан (1а). Циркуляцію гарячої води забезпечує насос (М2).

Далі вода проходить витримувач із продуктивністю 5 м³/год, де утримується протягом 20-30 секнд. Після витримувача вода повертається до другої секції регенерації з температурою 72-75 °С для передачі тепла потоку у прямій секції. Аналогічно, у першій секції регенерації відбувається теплообмін у зворотному потоці. На етапі проміжного охолодження температура води знижується до 20–30 °С.

Фінальне охолодження води до 4 °С здійснюється у вихідній секції за допомогою крижаної води, яка подається через клапани (29а, 30а). Після цього вода повертається у зрівнювальний бак і продовжує циркулювати до стабілізації необхідного температурного режиму.

Після досягнення встановленої температури (72-75°С) система перемикається на обробку продукту (молока). Відкриваються відповідні клапани

(22a), насос (M1) запускається для витіснення води із системи. Перехідний режим контролюється за допомогою кондуктометра (16a); при досягненні провідності $1,4 \text{ мСм/см}^2$ насос M1 автоматично вимикається.

У режимі пастеризації клапан (15a) закритий, а клапан (4a) перенаправляє потік води через дренажний клапан (5a). Рівень у зрівнювальному баку контролюється, насос (M1) працює під управлінням частотного перетворювача (7a). Температура вихідної секції регулюється згідно з рецептурою.

При фіксації провідності понад $1,4 \text{ мСм/см}^2$ (кондуктометр 3a), клапан (5a) переключає молоко на вихідну лінію. У разі відхилення температури пастеризації більш ніж на $2 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом 5 с (контроль клапаном 26a), молоко автоматично перенаправляється у зрівнювальний бак за допомогою клапана (21a), а система переходить у режим температурної циркуляції до стабілізації температури.

Після завершення пастеризації залишки молока видаляються із системи. Для цього вода подається насосом (M1) у лінію подачі. При зниженні провідності нижче $1,4 \text{ мСм/см}^2$ (кондуктометр 16a), клапан (17a) перемикається, подача води припиняється. Залишки молока остаточно витісняються водою під тиском, контрольований об'єм якої фіксується витратоміром (19a). Після досягнення встановленого об'єму клапан (5a) переключає потік у дренаж, завершуючи процес очищення системи.

Найбільш складним етапом у функціонуванні пастеризатора є процедура його мийки, яка здійснюється із використанням спеціальної системи СІР-мийки (Clean-In-Place).

Даний процес може бути структурований у кілька послідовних стадій:

1. Початковий етап передбачає промивання пастеризатора протягом 10 хвилин чистою водою без циркуляції, вода спрямовується у дренаж. Продуктивність обладнання під час цього етапу становить $7 \text{ м}^3/\text{год}$.

2. Другий етап включає мийку розчином каустичної соди ($2\% \text{ NaOH}$) з провідністю 90 мСм/см^2 при температурі $75 \text{ }^\circ\text{C}$. Під час цього процесу задіяна

секція пастеризації та вихідна секція. Гомогенізатор працює в стані без тиску з відкритим байпасним клапаном. Процес триває 30 хвилин.

3. Третя стадія полягає у видаленні залишків каустика шляхом витіснення його водою. При цьому система нагрівання відключається, а провідність вимірювача-кондуктометра 3а повинна становити менше 1 мСм/см².

4. Далі виконується повторна промивка обладнання чистою водою протягом 10 хвилин.

5. Наступний етап — очищення за допомогою 1% розчину азотної кислоти (HNO₃) з провідністю 50 мСм/см². Тривалість цього процесу складає 20 хвилин.

6. Шостим кроком є витіснення кислоти водою за аналогічною схемою, як зазначено у третьому пункті.

7. Завершальний етап передбачає кінцеву промивку пастеризатора чистою водою протягом 10 хвилин.

8. Після закінчення всіх етапів мийки обладнання вимикається або переходить у режим готовності до подальшої експлуатації.

Вище вказані стадії забезпечують ефективне очищення пастеризатора відповідно до стандартів, необхідних для безперервного виробничого процесу.

Функціональна схема автоматизованого процесу пастеризації молока наведена на рисунку 2.2.

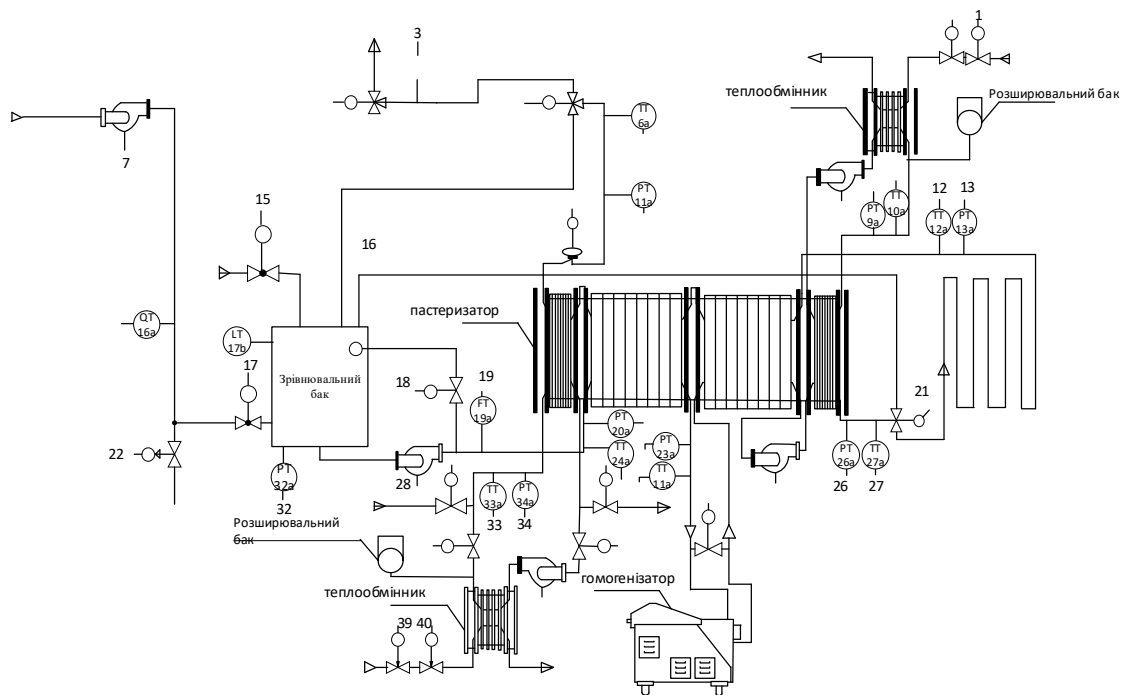


Рисунок 2.2 – Функціональна схема автоматизованого процесу пастеризації
МОЛОКА

2.3 Структурна схема системи автоматизації

Структурна схема автоматизованої системи відображає інтегровану взаємодію між апаратними компонентами, які забезпечують ефективне керування процесом пастеризації молочних продуктів. Основу зазначеної системи складає програмований логічний контролер (ПЛК) VIPA 314SC/DPM, що виконує функції збору даних із сенсорів, обробки інформації відповідно до заданих алгоритмів та управління виконавчими механізмами.

Автоматизована система включає такі ключові компоненти:

- ПЛК VIPA 314SC/DPM, що є центральним елементом керування;
- модулі вводу/виводу (AI, DI, AO, DO), призначені для підключення сенсорів і пристроїв виконавчої техніки;
- SCADA-систему WinCC, яка забезпечує моніторинг і управління технологічним процесом у реальному часі;
- операторську панель HMI, яка дозволяє здійснювати локальний контроль і керування параметрами процесу;

- температурні сенсори (наприклад, PT100 або термопари типу ТХА), які відповідають за контроль температурного режиму пастеризації;
- сенсори рівня, призначені для моніторингу об'єму рідини в зрівнювальному баку;
- датчики тиску, для стеження за рівнем тиску в баку;
- витратоміри для визначення обсягів споживання молока та води;
- виконавчі пристрої, зокрема електроприводні клапани, насоси з частотним регулюванням, а також гомогенізатор.

Комунікація між основними елементами системи, зокрема ПЛК, SCADA та HMI, реалізована за допомогою промислової мережі Ethernet, що забезпечує високу швидкість передачі даних та надійність інформаційного обміну. Деталізована структурна схема автоматизованої системи подана на рисунку 2.3.

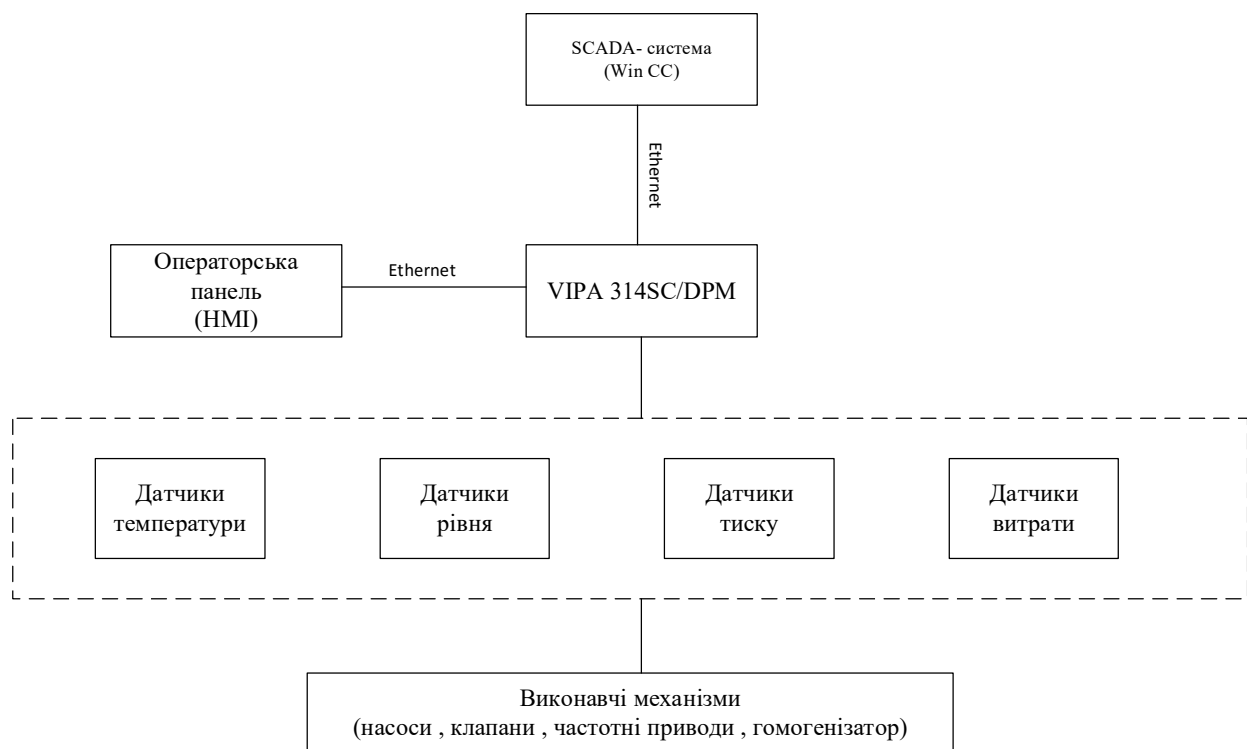


Рисунок 2.3 – Структурна схема системи процесу пастеризації молока

2.4 Принципова електрична схема

Принципова електрична схема системи автоматизації процесу пастеризації молочних продуктів демонструє інтеграцію програмованого

логічного контролера VIPA 314SC/DPM із периферійним обладнанням, включаючи датчики, виконавчі механізми, панелі оператора та SCADA-систему.

Контролер VIPA 314SC/DPM оснащений вбудованими модулями аналогових і цифрових входів/виходів, що дозволяє підключати ключові елементи технологічного обладнання пастеризатора без потреби у значному використанні додаткових модулів розширення.

Автоматизація реалізується через такі типи підключень:

- Аналогові входи (AI): використовуються для датчиків температури, тиску та витрати;
- Цифрові входи (DI): забезпечують підключення датчиків рівня й сигналів стану обладнання;
- Цифрові виходи (DO): застосовуються для керування виконавчими механізмами, такими як клапани, насоси, приводи та гомогенізатор;
- Ethernet або MPI/DP інтерфейс: забезпечує комунікацію зі SCADA-системою WinCC і операторськими панелями HMI.

Структура підключення системи включає:

- Датчики температури (T1, T2): підключення до каналів AI0 і AI1;
- Датчик тиску (PT1): підключення до AI2;
- Витратомір (FT1): підключення до AI3;
- Датчик рівня (LT1): з'єднання через DI0;
- Клапани (K1, K2): управління через DO0 і DO1;
- Частотний привід насоса (P1): контроль через DO2;
- Гомогенізатор: управління через DO3.

Комунікація між ПЛК та SCADA-системою WinCC здійснюється через промислову мережу Ethernet, що дозволяє моніторити, візуалізувати та архівувати ключові технологічні параметри в реальному часі. Усі компоненти системи автоматизації зображено на принциповій електричній схемі, зображені на рисунку 2.4.

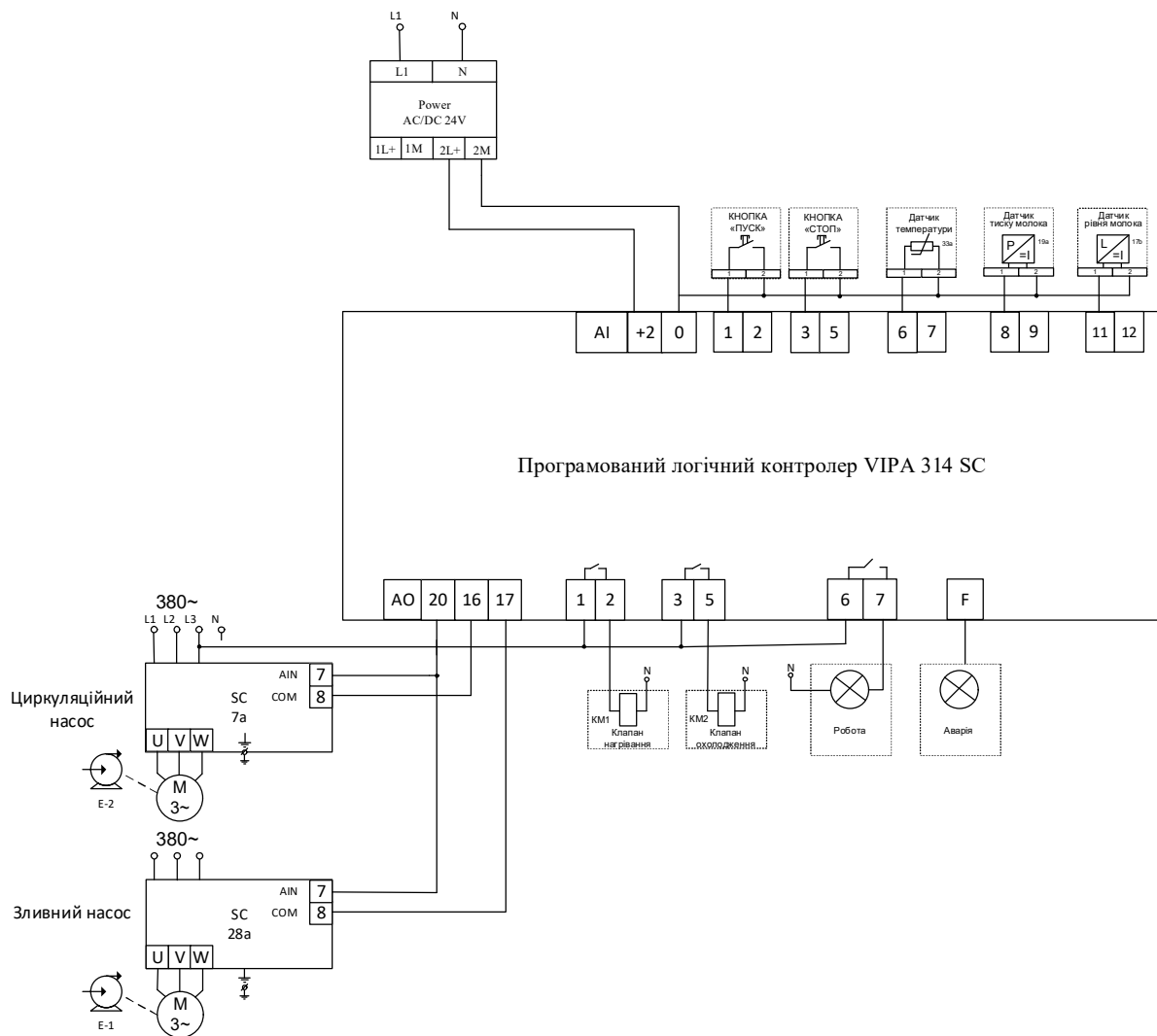


Рисунок 2.4 – Принципова електрична схема

2.5 Програмування ПЛК VIPA

У цій роботі застосовувався контролер VIPA 314 SC/DPM. Для програмування контролерів цієї серії використовується спеціалізоване програмне середовище, створене компанією саме для таких пристроїв. Отже, реалізація функціональності ПЛК здійснювалася в середовищі Step 7 версії 5.6.

Дані для переліку змінних зроблено в таблиці 2.2:

Таблиця 2.2 - Перелік змінних проекту

Status	Symbol	Address	Data type	Comment
	out_V1_V2	Q 15.0	BOOL	
	out_V14	Q 15.3	BOOL	
	out_V15	Q 15.4	BOOL	
	out_V17	Q 15.5	BOOL	
	out_V18	Q 15.6	BOOL	
	out_V22	Q 15.7	BOOL	no
	out_V29_V30	Q 16.1	BOOL	
	out_V35	Q 16.2	BOOL	no
	out_V36_V37	Q 16.3	BOOL	
	out_V39_V40	Q 16.4	BOOL	
	out_V4	Q 15.1	BOOL	
	out_V5	Q 15.2	BOOL	no
	pid_BTD_level	DB 42	FB 41	
	pid_M4	DB 41	FB 41	
	pid_Tout	DB 44	FB 41	
	pid_Tpast	DB 43	FB 41	
	Pidu	FC 4	FC 4	
	power_M1	PQW 256	WORD	
	power_M4	PQW 258	WORD	
	power_V1	PQW 260	WORD	
	PT13	PIW 294	WORD	
	PT20	PIW 288	WORD	
	PT23	PIW 290	WORD	
	PT27	PIW 266	WORD	
	PT32	PIW 260	WORD	
	PT34	PIW 258	WORD	
	PT9	PIW 292	WORD	
	QT16	PIW 278	WORD	
	step_0	M 100.0	BOOL	stop
	step_1	M 100.1	BOOL	циркуляція
	step_2	M 100.2	BOOL	пастеризація
	step_3	M 100.3	BOOL	виштовхування
	step_4	M 100.4	BOOL	CIP_past
	Steps	FC 1	FC 1	
	TT10	PIW 280	WORD	
	TT12	PIW 282	WORD	
	TT24	PIW 272	WORD	
	TT26	PIW 262	WORD	
	TT31	PIW 274	WORD	
	TT33	PIW 270	WORD	

Практично весь проєкт було реалізовано з використанням мови LAD (Ladder Diagram). Винятком є функціональний блок для обробки аналогових сигналів, створений з використанням мови програмування STL. В таблиці 2.3

представлено код основного блоку, який містить виклики різних функціональних блоків:

- Steps — різні режими роботи пастеризатора;
- Alarms — аварійні ситуації;
- Analog — обробка аналогового сигналу;
- Pid_s — ПІД-регулятори;
- Out_s — активація виходів.

Таблиця 2.3: Код основного блоку

Network: 3	
	FC1 Steps {CALL}
Network: 4	
	FC2 alarms {CALL}
Network: 5	
	FC3 Analog {CALL}
Network: 6	
	FC4 Pidu {CALL}
Network: 7	
	FC5 Out_s {CALL}

На рисунку 2.5 зображено код блоку Steps. Під час запуску контролера виконується код активації step_0, який сигналізує про те, що пастеризатор перебуває в стані простою, а жоден з режимів роботи не активовано. Функціонал step_0 передбачений таким чином, що він скидає всі інші реле, залишаючи активним лише себе.

За аналогічним принципом налаштовані й інші режими роботи контролера, а саме:

- step_1 — режим циркуляції;
- step_2 — режим пастеризації;

- step_3 — режим витіснення (злив обробленого молока);
- step_4 — режим мийки;

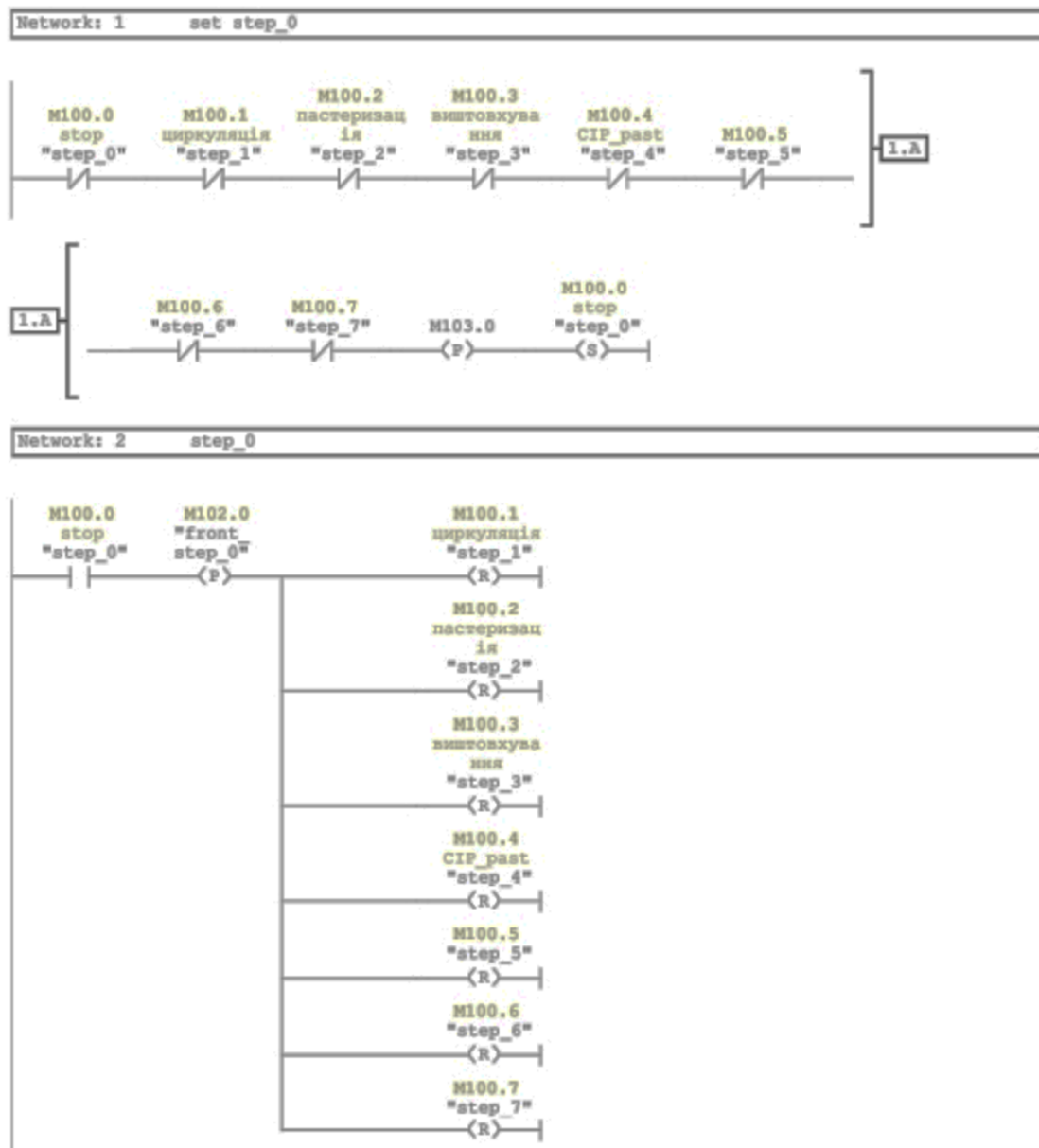


Рисунок 2.5 – Код функціонального блоку Step

У тексті описано умови активації сигналів про помилки в системі управління процесами. Змінна **error_all** активується за наявності хоча б однієї помилки в системі. Скидання цієї змінної здійснюється через натискання кнопки **Reset**, розміщеної у вікні **Scheme** SCADA-системи.

Для ілюстрації представлено приклади помилок, які стосуються клапана, обладнаного двома індуктивними датчиками, а також помилок, пов'язаних з

насосом M1, що забезпечує подачу молока до зрівнювального баку. Інші тривожні події в системі реалізовані аналогічно до описаних.

Окрім цього, у конструкції передбачено використання таймера. Його функціонування обумовлене тим, що клапан не може відкритися миттєво, або ж для обробки інших умовних некритичних ситуацій, які можуть спровокувати активацію сигналу про помилку.

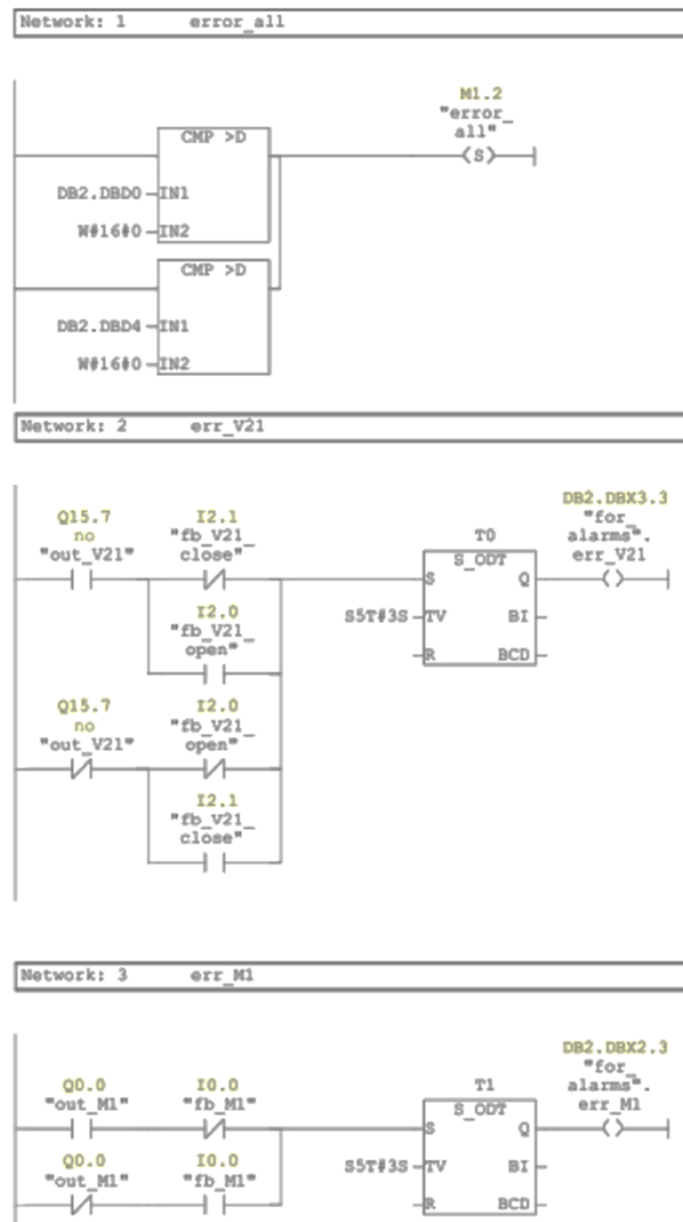


Рисунок 2.6 – Код функціонального блоку Alarms

Блок обробки аналогових сигналів, відомий як Analog, забезпечує аналіз таких даних. Оскільки всі датчики функціонують на базі стандарту сигналів 4-20 мА, цей алгоритм є універсальним і підходить до широкого спектра інших

сенсорних пристроїв. Програмна реалізація даного коду виконана на мові STL, яка за своєю структурою має подібність до мови IL, але водночас вирізняється певними специфічними рисами.

```

Network: 1          PT11
// convert          to 1.0
  L      "PT11"          PIW256
  ITD
  DTR
  L      2.764800e+004    // 1.0
  /R

// zoom
  L      "for_analog".PT11.full    DB3.DBD4
  *R
  L      "for_analog".PT11.span    DB3.DBD0
  -R
  T      "for_analog".PT11.out_real    DB3.DBD16

// check alarm
  O(
    L      "for_analog".PT11.out_real    DB3.DBD16
    >R     "for_analog".PT11.err_20_in    DB3.DBD12
  )
  O(
    L      "for_analog".PT11.out_real    DB3.DBD16
    <R     "for_analog".PT11.err_4_in     DB3.DBD8
  )
  =      "for_analog".PT11.error        DB3.DBX24.0

```

Рисунок 2.7 – Код функціонального блоку Alarms

Активацію регуляторів ПД у блоці Pid_s ілюструє рисунок 15. Як приклад надано систему автоматичного регулювання (САР) температури пастеризації, при цьому інші регулятори реалізуються за аналогічним принципом.

```

|---[ "out_M2" ]---[ "phasa_2" ]---[ "pid_".Spust_.MAN_ON ]---[ "pid_".Spust_.CONF_C ]---|
|
|-- ENO
|
|-- "pid_".Spust_.LIMH
|-- "pid_".Spust_.LIM_PER
|-- "pid_".Spust_.GAIN_HLM
|-- "pid_".Spust_.LIM_P
|-- "pid_".Spust_.LIM_I
|-- "pid_".Spust_.LIM_D
|-- "pid_".Spust_.PV
|-- "pid_".Spust_.SP_INT
|-- "pid_".Spust_.SP_INT_HOLD
|-- "pid_".Spust_.X_SEL
|-- "pid_".Spust_.Y_SEL
|-- "pid_".Spust_.R_SEL
|-- "pid_".Spust_.TYP_SEL
|-- "pid_".Spust_.TYP_ON
|-- "pid_".Spust_.TYP_PER
|-- "pid_".Spust_.TYP_INT
|-- "pid_".Spust_.TYP_MAN
|-- "pid_".Spust_.GAIN
|-- "pid_".Spust_.GAIN_P
|-- "pid_".Spust_.GAIN_I
|-- "pid_".Spust_.GAIN_D
|-- "pid_".Spust_.TYP_LAG
|-- "pid_".Spust_.DEADB_W
|-- "pid_".Spust_.LIM_HLM
|-- "pid_".Spust_.LIM_LLM
|-- "pid_".Spust_.X_FAC
|-- "pid_".Spust_.Y_FAC
|-- "pid_".Spust_.XMIN_FAC
|-- "pid_".Spust_.YMIN_FAC
|-- "pid_".Spust_.T_INTERVAL
|-- "pid_".Spust_.DISV

```

Рисунок 2.8 – Код функціонального блоку Pid_s

На рисунку 2.9 представлено код для блоку Out_s, в якому деталізовано алгоритм відкриття конкретного вихідного каналу залежно від обраного режиму функціонування. Зокрема, насос M5 активується в режимі мийки, а також у режимах пастеризації та виштовхування, коли необхідно забезпечити подачу гарячого теплоносія до вихідної секції.

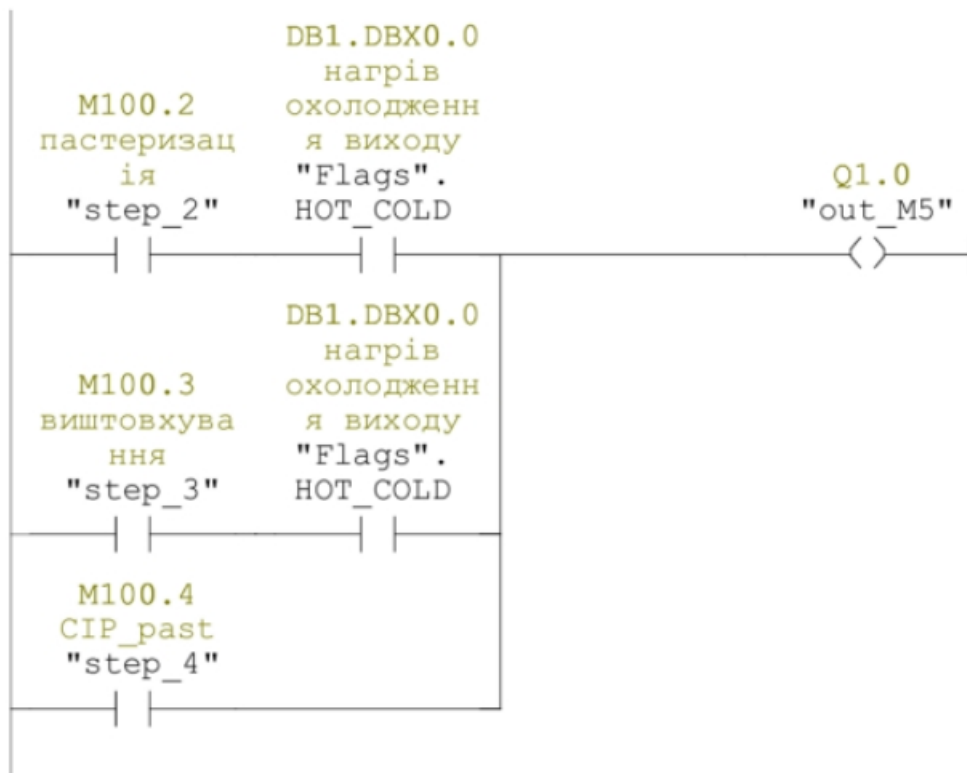


Рисунок 2.9 – Код функціонального блоку Out_s

2.6 Розробка керування алгоритмом процесу пастеризації

Опис етапів алгоритму відповідно до рисунку 2.9:

Старт: На початковому етапі оператор запускає програму керування ПЛК через SCADA-систему. Система перевіряє справність та готовність всього обладнання до роботи.

Заповнення пастеризатора: Активується насос подачі сирого молока, а також відкривається впускний клапан. Поповнення пастеризатора відбувається під контролем датчика рівня, який забезпечує точну подачу продукту.

Нагрівання продукту (пастеризація): подача гарячого теплоносія через теплообмінник активується для нагрівання молока. Датчик температури T1 фіксує температурний рівень, а ПІ-регулятор ПЛК автоматично керує регулюючим клапаном, забезпечуючи підтримку заданої температури для процесу пастеризації.

Витримка температури: Після досягнення встановленої пастеризаційної температури (зазвичай у межах 72–75 °C), запускається таймер витримки. Температура підтримується стабільно протягом заданого часу (15-30 секунд), забезпечуючи необхідне теплове оброблення молока.

Охолодження: Після витримки молоко автоматично спрямовується до секції охолодження. Під час цього температура готового продукту знижується до показників менше 6 °C завдяки регулюванню подачі холодоносія.

Злив обробленого молока: Після завершення охолоджувального етапу оброблене молоко зливається в накопичувальні ємності або надходить безпосередньо до машини для пакування.

Мийка (CIP): Після закінчення повного технологічного циклу автоматично розпочинається процес очищення обладнання (CIP-мийка). Це забезпечує необхідний рівень санітарно-гігієнічної безпеки перед новим запуском процесу.

Стоп: По завершенні мийки, або за командою оператора, система переходить у режим очікування, готова до виконання наступного виробничого циклу.

Аварійний режим: У разі виходу будь-якого контрольованого параметра (температури, рівня чи тиску) за дозвалені межі система автоматично перемикається в аварійний режим.

У цьому випадку виконуються наступні дії:

- негайне відключення всіх виконавчих механізмів;
- закриття клапанів;
- генерування звукового та візуального сигналу для інформування оператора;
- блокування подальших етапів до моменту повного усунення причин аварійної ситуації.

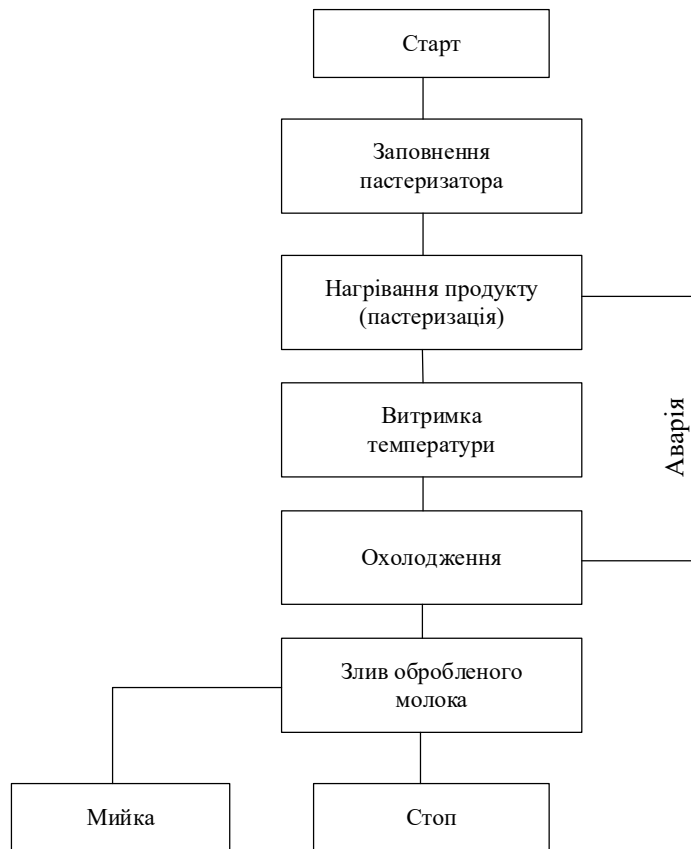


Рисунок 2.10 – Алгоритм керування процесом пастеризації

2.7 Розробка SCADA – інтерфейсу системи пастеризації

У складі створеної електромеханічної системи автоматизації пастеризації молочних продуктів передбачено розробку інтуїтивно-зрозуміло та функціонального SCADA-інтерфейсу, який забезпечує зручний і ефективний взаємозв'язок оператора з обладнанням.

SCADA-інтерфейс реалізовано у середовищі WinCC. Для зв'язку між SCADA-системою та програмованим логічним контролером VIPA 314 SC використовується OPC-сервер, що забезпечує уніфікований доступ до змінних ПЛК.

На рисунку 2.11 представлена створена мнемосхема пастеризатора. У цій панелі оператор отримує функціональні можливості для:

Моніторингу технологічного процесу в реальному часі:

- відображення температур у різних точках системи (T out, T past);

- контроль тисків у технологічних трубопроводах; - візуалізація положень клапанів і стану насосів.

Керування режимами роботи:

- запуск і зупинку процесу пастеризації;
- активацію режиму циркуляції;
- включення режиму CIP-миття (Cleaning in Place).

Реагування на аварійні ситуації:

- доступ до вікна тривог (Alarms) з актуальними аварійними повідомленнями та подіями;
- ручне скидання аварій через кнопку Reset. Налаштування параметрів регулювання:
- поля введення уставок для ПІД-регуляторів розташовано біля відповідних зон вимірювання;
- безпосередня зміна уставок температури та інших параметрів прямо з мнемосхеми.

Окрім цього, SCADA-система виконує архівування історичних даних і протоколювання подій, що дозволяє аналізувати роботу установки, покращуючи загальну ефективність технологічного процесу.

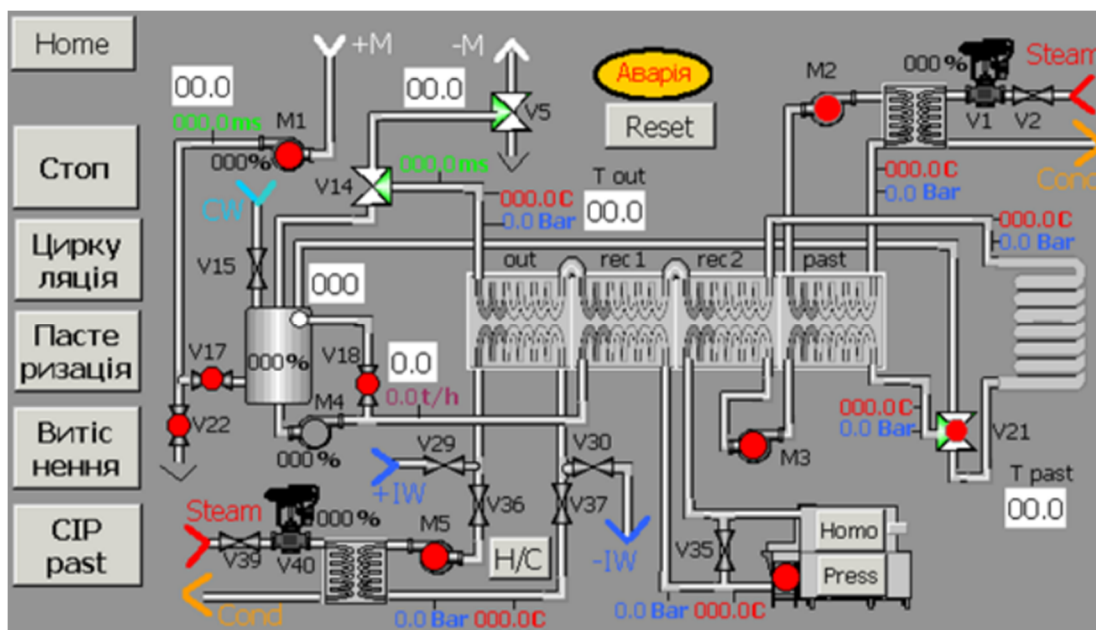


Рисунок 2.11 – Мнемосхема пастеризатора реалізована в SCADA – системі WinCC

3 РОЗРАХУНОК І ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Вибір датчиків температури, тиску і рівня

Для забезпечення високої точності контролю технологічного процесу пастеризації молочних продуктів, вибір і розміщення засобів вимірювання здійснюються з урахуванням особливостей технологічного процесу, вимог до промислової безпеки та оптимізації енергоефективності.

Ключовими параметрами, що підлягають моніторингу, є:

1. Температура молока на різних технологічних етапах.
2. Тиск молока та теплоносія в системі.
3. Рівень молока у зрівнювальному резервуарі.

Вибір датчиків температури: Температура виступає визначальним параметром у процесі пастеризації, оскільки від її точного контролю залежить кінцева якість продукції та ефективне знищення патогенних мікроорганізмів.

У запропонованій системі використовуються платинові термоопірні перетворювачі типу Pt100 у гігієнічному виконанні, яке відповідає стандартам харчової промисловості. Такий вибір забезпечує високу точність вимірювання та дотримання вимог санітарної безпеки. Даний датчик зображений на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Датчик температури Pt 100

Вибір датчиків тиску: Моніторинг тиску є необхідним для забезпечення стабільної роботи насосно-теплообмінного обладнання та захисту системи від аварійних ситуацій. У цьому випадку використовуються електронні датчики тиску з аналоговим вихідним сигналом 4–20 мА, які легко інтегруються до програмованих логічних контролерів (ПЛК) VIPA. Така конфігурація гарантує можливість швидкої передачі даних та оперативного реагування на зміни параметрів. Зображений на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Датчик тиску MBS-1700

Вибір датчиків рівня: Контроль рівня молока у зрівнювальному резервуарі забезпечує безперервність технологічного процесу та мінімізує ризик виникнення позаштатних ситуацій.

Для цього використовуються такі засоби:

- Гідростатичний датчик рівня з аналоговим сигналом 4–20 мА, який дозволяє регулювати рівень молока в резервуарі. Зображений на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Поплавковий датчик ДРП-І

- Ємнісні датчики, призначені для індикації критичних значень мінімального або максимального рівня. Таким чином, ретельний підбір і правильна інтеграція засобів вимірювання сприяють ефективному функціонуванню системи пастеризації та забезпечують високу якість кінцевого продукту з дотриманням всіх стандартів промислової безпеки. Зображений на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Ємнісний датчик SICK

Таблиця 3.1 - Датчики рівня

Параметр	Місце встановлення	Діапазон вимірювання	Тип датчика	Вихідний сигнал
Температура молока на вході в пастеризатор	Після зрівнювального бака	4...6 °C	Pt100 (санітарний)	4-20 мА / Pt100
Температура молока після пастеризації	На виході з пастеризаційної секції	72...75 °C	Pt100 (санітарний)	4-20 мА / Pt100
Температура молока після охолодження	Після охолоджувальної секції	4...6 °C	Pt100 (санітарний)	4-20 мА / Pt100
Тиск молока на виході з пастеризатора	Після пастеризаційної секції	0...5 бар	MBS-1700	4-20 мА
Тиск сирого молока в баку	Зрівнювальний бак	0...2 бар	MBS-1700	4-20 мА
Тиск теплоносія в секції пастеризації	Перед теплообмінником	0...2 бар	MBS-1700	4-20 мА

Продовження таблиця 3.1

Рівень молока у зрівнювальному баку	Зрівнювальний бак	0...100 % від висоти бака	ДРП-І	4-20 мА
Сигналізація рівня мін./макс.	Зрівнювальний бак	2 уставки (min / max)	SICK	Дискретний

3.2 Вибір виконавчих механізмів

У системі автоматизації процесу пастеризації молочних продуктів ключову роль виконують наступні механізми: - насоси, що забезпечують транспортування продукту та мийних розчинів; - регулюючі й запірні клапани, які керують потоками рідин і пару; - частотні перетворювачі, призначені для плавного регулювання продуктивності роботи насосів; - пневмоприводи, що використовуються для управління запірною арматурою.

Вибір обладнання проведено з урахуванням вимог до санітарної безпеки харчового виробництва, його стійкості до СІР-мийки та інтеграції з автоматизованою системою керування на основі ПЛК VIPA.

Таблиця 3.2 – Виконавчі механізми

Виконавчий механізм	Конкретна модель / тип	Призначення	Принцип керування
Санітарний насос для сирого молока	Grundfos Hilge Hygia H 10	Подача сирого молока у пастеризатор	Частотне регулювання (VFD)
Санітарний насос для циркуляції теплоносія	Grundfos CRN 5-8	Подача теплоносія у секцію пастеризації	Пуск/зупинка з ПЛК
Санітарний насос для СІР-мийки	Grundfos Hilge Hygia H 15	Подача мийних розчинів у систему	Частотне регулювання (VFD)
Регулюючий клапан подачі пари	Alfa Laval Unique SSV (Single Seat Valve) + позиціонер Burkert 8692	Регулювання подачі пари у теплообмінник	Аналогове керування (4-20 мА)
Регулюючий клапан на лінії охолодження	Alfa Laval Unique SSV + позиціонер Burkert 8692	Регулювання подачі холодоносія	Аналогове керування (4-20 мА)
Запірні клапани	GEMU 567 (пневмоклапани ON/OFF)	Перемикання потоків (дренаж, циркуляція, подача)	Дискретне керування

Продовження таблиці 3.2:

Частотний перетворювач для насоса подачі молока	Danfoss VLT FC 202 1.5 кВт	Регулювання швидкості насоса подачі сирого молока	Аналогове керування з ПЛК
Частотний перетворювач для СІР-насоса	Danfoss VLT FC 202 2.2 кВт	Регулювання швидкості насоса СІР-мийки	Аналогове керування з ПЛК



Рисунок 3.5 – Насоси фірми Grundfos



Рисунок 3.6 – Регулюючий клапан



Рисунок 3.7 – Частотний перетворювач

3.3 Розрахунок деяких режимів роботи автоматизації

Основою для розрахунку режимів роботи є витрати молока, задана температура пастеризації та час витримки продукту при високій температурі.

3.3.1 Розрахунок витрати молока

Відповідно до технологічної схеми, витрати сирого молока становлять:

$$Q = \frac{6500}{3600} = 1,8 \text{ л/с} \quad (3.1)$$

Для забезпечення необхідного потоку обираємо насос із запасом по продуктивності 20%:

$$Q = 1,81 * 1,2 = 2,17 \text{ л/с} \quad (3.2)$$

Вибір насоса: Grundfos Hilge Nugia H 10, продуктивність до 8 м³/год, напір до 2.5 бар.

3.3.2 Розрахунок часу витримки

Згідно з нормативами, пастеризація проводиться при температурі 72–75 °С, з витримкою не менше 15 секунд.

Об'єм витримувача V визначається як:

$$V = 1,81 * 15\text{с} = 27,15 \text{ л} \quad (3.3)$$

Приймається трубчастий витримувач об'ємом 30 л — забезпечує необхідний час термічного впливу.

3.3.3 Температурні режими пастеризації

- Вхідна температура сирого молока: 4-6 °C
- Попереднє підігрівання у секції рекуперації: до 65=70 °C
- Основна температура пастеризації: 72=75 °C
- Температура після витримки: 72=75 °C
- Охолодження до температури зберігання: ≤6 °C

3.3.4 Розрахунок швидкості потоку у трубопроводі

При діаметрі внутрішнього трубопроводу $D = 38$ мм:

$$A = 3.14 \cdot \frac{0.038^2}{4} = 0.00113 \text{ мм}^2 \quad (3.4)$$

$$v = \frac{0.00181}{0.00113} = 1.6 \text{ м/с} \quad (3.5)$$

Отже, швидкість потоку відповідає допустимим значенням для харчової промисловості (1–2 м/с).

Таким чином, підібране обладнання забезпечує:

- необхідні витрати продукту (6500 л/год);
- відповідність температурного режиму (72–75 °C);
- час витримки не менше 15 с;
- гідравлічні характеристики трубопроводів у межах норми.

3.4 Розрахунок регуляторів замкнутих контурів

Розрахунок буде здійснюватися для вузького контролю температури молока на вході у витримувач (температура пастеризації). Вимірювальний канал відображено в таблиці 3.3:

Таблиця 3.3 – Елементи ВК

№	Елементи ВК	Клас точності	Діапазон вимірювання	Вихідний сигнал	Допустима похибка
1	Pt 100	0.15 %	0...150 °C	4-20 мА	± 0,3 °C
2	VIPA 314	0.1 %	0...150 °C	4-20 мА	± 0,5 °C

Розрахунок абсолютної похибки кожного елементу виконуються за формулою (3.6):

$$\Delta = \frac{\varepsilon_{\text{кл}} (X_{\text{max}} - X_{\text{min}})}{100} \quad (3.6)$$

де $\varepsilon_{\text{кл}}$ — клас точності елементу;

X_{max} — максимальне значення вимірювальної величини; X

X_{min} — мінімальне значення вимірювальної величини.

$$\Delta 1 = \frac{0,15 (150 - 0)}{100} = 0,225 \quad (3.7)$$

$$\Delta 2 = \frac{0,1 (150 - 0)}{100} = 0,15 \quad (3.8)$$

$$\Delta_{\text{max}} = \sqrt{0,225^2 + 0,15^2} = 0,27 \quad (3.9)$$

$$0,27 < 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3.5 Імітаційне моделювання системи автоматизації

Для оцінки ефективності розробленої системи автоматизації процесу пастеризації молока проведено імітаційне моделювання контурів автоматичного регулювання температури за допомогою MATLAB Simulink.

Головна мета цього моделювання полягає у перевірці коректного функціонування ПД-регулятора, аналізі динамічної реакції системи на зовнішні збурення та підтвердженні правильності налаштувань параметрів регулювання.

Моделювання виконувалось для пастеризаційної секції з використанням теплообмінника, який моделюється як інерційна ланка із запізненням.

Вибраний канал регулювання виступає об'єктом керування із властивістю самовирівнювання. Ідентифікація об'єкта управління здійснювалася шляхом отримання розгінної характеристики, зображеної на рисунку 3.8.

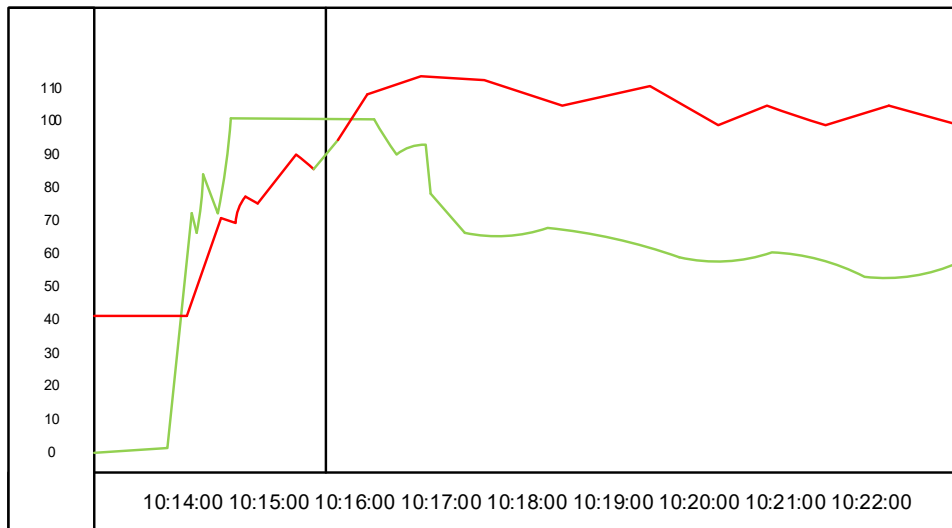


Рисунок 3.8 – Розгінна характеристика

Дана характеристика була апроксимована і перебудована в перехідну характеристику.

$$K_{06} = 3$$

$$T_{06} = 25 \text{ c}$$

$$\tau = 5 \text{ c}$$

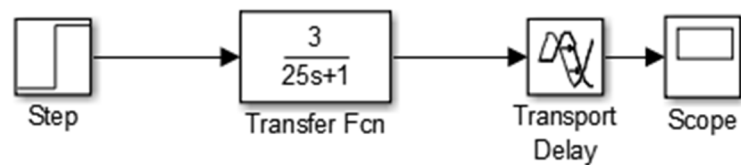


Рисунок 3.9 – Модель параметрів пастеризатора

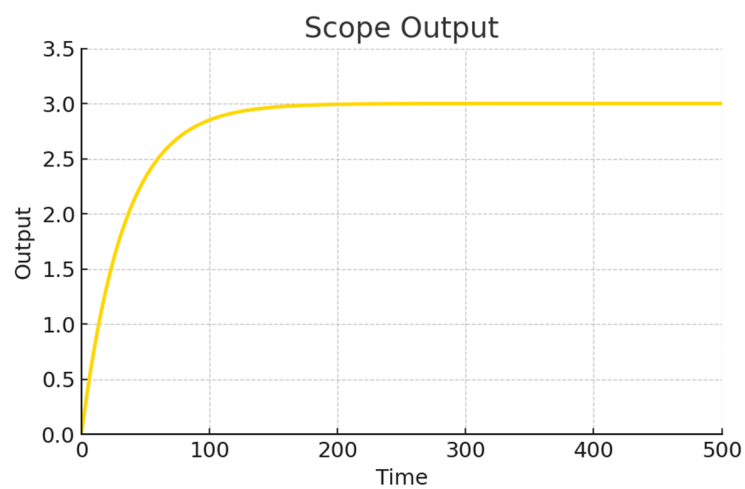


Рисунок 3.10 – Графік перехідного процесу пастеризації

За результатами моделювання бачимо, що система виходить на уставлення значення 150 с при температурі від 72-75, робота стійка похибка 0,3°C.

Таким чином ПІД регулятор чітко демонструє і задовільняє умови динамічної характеристики і якісної характеристики.

Фактичні показники температури та керуючого сигналу регулятора передаються до ПЛК VIPA 314 SC і відображаються на екранах SCADA-системи. Завдяки інтерфейсу SCADA користувачі мають можливість у режимі реального часу стежити за перебігом процесу пастеризації, коригувати налаштування ПІД-регулятора та проводити аналіз трендів за історичними даними.

Приклад вікна в SCADA – системі зображено на рисунку 2.5.

Висновки моделювання продемонстрували ефективність роботи системи автоматичного регулювання температури під час процесу пастеризації молока. Запропонований керувальний алгоритм забезпечує точне і стабільне дотримання температурного режиму, що є ключовим фактором для отримання високоякісної кінцевої продукції.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Обраний ПЛК VIPA дозволяє зчитувати дані з датчика температури Pt100 напряму, без необхідності в проміжних пристроях, що спрощує схему автоматизації, знижує витрати та підвищує точність керування. Завдяки цифровим і аналоговим виходам ПЛК, забезпечено ефективне управління виконавчими механізмами в режимі реального часу.

У роботі використано виконавчі механізми, які безпосередньо взаємодіють з ПЛК VIPA через цифрові та аналогові виходи. Це дозволяє реалізувати автоматичне керування процесом пастеризації у реальному часі. Керування електромагнітними клапанами здійснюється за допомогою дискретних сигналів 24 В DC, а регулювання частоти обертання насосів — через аналогові сигнали 4–20 мА або 0–10 В. Такий підхід забезпечує високу точність, надійність та швидкодію системи, а також дає змогу ефективно контролювати температуру, тиск і витрату робочих середовищ. Усі механізми адаптовані до умов харчового виробництва, відповідають вимогам гігієнічності та мають довгий ресурс експлуатації.

4.1 Аналіз витрат на впровадження

Для реалізації системи автоматизації процесу пастеризації молочних продуктів здійснено аналіз витрат, що включав придбання обладнання, закупівлю програмного забезпечення, виконання монтажу та проведення пуско-налагоджувальних робіт. Детальний розподіл основних витрат наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Витрати на реалізацію автоматизацію системи

№	Найменування обладнання / послуг	Кількість	Вартість за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
1	ПЛК VIPA 314 SC + AI/DI/DO модулі	1	25000	25000
2	Панель оператора HMI (наприклад, Weintek)	1	12000	12000
3	Датчики температури Pt100 (санітарне виконання)	3	3500	10500
4	Датчики тиску Danfoss MBS 1700	3	4000	12000
5	Датчики рівня (гідростатичний + ємнісні)	2	3000	6000
6	Регулюючі клапани Alfa Laval Unique SSV + позиціонери Burkert	2	18000	36000
7	Санітарні насоси Grundfos Hilge Hygia	3	22000	66000
8	Частотні перетворювачі Danfoss VLT	2	10000	20000
9	SCADA-система (ліцензія + конфігурація)	1	15000	15000
10	Кабельна продукція, шафа керування, допоміжне обладнання	1	20000	20000
11	Загалом			222500

4.2 Очікуваний економічний ефект

Очікуваний економічний ефект від впровадження автоматизованої системи пастеризації молочних продуктів обчислюється шляхом аналізу та порівняння витрат між автоматизованим і звичайним, неавтоматизованим варіантом.

Для цього розрахунок здійснюється за такими формулами:

Таблиця 4.2 – Витрати на автоматизацію

Показник	Значення
Вартість обладнання $V_{об}$	222500 грн
Вартість програмування $V_{пр}=5\%$	11125 грн
Вартість транспортування $V_{т}=3\%V$	6675 грн
Вартість монтажу $V_{м}=20\%V$	44500 грн
Пусконаладжувальні роботи $V_{пн}=10\%V$	22500 грн
Вартість ремонту $V_{р}=0,15\%$	46095 грн

Загальна вартість на автоматизацію:

Капітальні вкладення на автоматизацію:

$$K_{авт}=V_{об}+ V_{п} + V_{т}+ V_{м}+ V_{пн} \quad (4.1)$$

$$K_{авт}= 307300$$

Додаткові витрати на обслуговування:

$$V_{авт}=V_{е}+V_{р}+V_{а}+V_{з} \quad (4.2)$$

$$V_{авт}=189,216+61460+46095+300000=407744,216 \text{ грн/рік}$$

Економія експлуатації обладнання:

$$E_{к}=600000 \text{ грн/рік}$$

$$U=600000-407744.216=192255.784 \text{ грн/рік} \quad (4.3)$$

Річний економічний ефект:

$$E_n = 0,15$$

$$E_{\phi} = 192\,225,78 - 0,15 \cdot 307\,300 = 146\,130,78 - 46\,095 = 100\,035,78 \text{ грн/рік} \quad (4.4)$$

Термін окупності:

$$T_o = K_{\text{авт}} / U$$

$$T_o = 307\,300 / 192\,255,784 = 1,6 \text{ року} \quad (4.5)$$

Дана система себе окупить через 18 місяців, що підтверджує її доцільність застосування.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі розглянуто питання охорони праці, що стосуються експлуатації електромеханічної системи автоматизації технологічного процесу пастеризації молочних продуктів на базі ПЛК VIPA.

Можливі аварійні ситуації в електричних мережах, а також недотримання правил безпечної експлуатації обладнання можуть призвести до серйозної загрози життю та здоров'ю людей через небезпеку опіків, уражень електричним струмом, падінь, поранень тощо.

Крім того, на електротехнічний оперативний персонал, що здійснює монтаж і експлуатацію даної системи, включаючи шафу керування, комп'ютерну SCADA-систему, насоси, клапани та датчики, інтегровані у ПЛК, впливають такі шкідливі виробничі фактори [1,2].

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо).

Хімічні фактори: речовини хімічного складу (миючий засіб), пил.

Фактори трудового процесу: важкість праці, напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації експлуатації об'єкта

1. У ході виконання своїх обов'язків працівник зобов'язаний носити захисний одяг і використовувати засоби індивідуального захисту. Перед початком роботи необхідно перевірити справність автоматизованої системи керування (АСК) та стан технологічного обладнання.

2. Для живлення засобів автоматизації та технологічного устаткування використовується трифазна електромережа із заземленою нейтральною точкою, з робочою напругою 220/380 В. Основним заходом забезпечення електробезпеки є використання системи захисного заземлення TN-C-S. Вона доповнюється автоматами максимального струмового захисту й пристроями захисного вимкнення (ПЗВ). В умовах підвищеної вологості (понад 85% відносної вологості) ступінь захисту оболонок електроустаткування повинен відповідати не нижче рівня IP65 згідно з існуючою класифікацією.

3. Робоче місце оператора АСК розташоване у спеціально відведений кімнаті з площею 15 м². Оператор виконує свої обов'язки за персональним комп'ютером, підключеним до віддаленої SCADA-системи, що дозволяє завжди оперативно отримувати інформацію про актуальний стан об'єкта чи необхідність ремонтних робіт. Для запобігання неконтрольованому вимкненню персональної електронно-обчислювальної машини (ПЕОМ) робоче місце обладнане додатковим джерелом безперебійного живлення.

4. Під час проведення будь-яких ремонтних робіт зона довкола робочого місця позначається сигнальною стрічкою. Прохід для персоналу, який не бере участі у виконанні цих робіт, суворо заборонений.

5.1.2 Електробезпека

Забезпечення електробезпеки є одним із фундаментальних аспектів, які потребують особливої уваги під час розроблення та експлуатації системи автоматизації технологічного процесу пастеризації молочних продуктів. У

проекті передбачено використання чотирипровідної трифазної електромережі з глухозаземленою нейтраллю, номінальною напругою 380/220 В. Експлуатаційні умови електроустановок класифікуються як такі, що характеризуються підвищеною небезпекою. Це пояснюється як присутністю металевих конструкцій, так і можливими явищами конденсації вологи, а також змінністю мікрокліматичних параметрів у приміщеннях пастеризаційного обладнання.

Згідно з положеннями ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом», у системі впроваджено наступні технічні рішення для забезпечення електробезпеки:

1. Запобігання доступу до струмоведучих елементів:

- Використання провідників і струмоведучих частин з ізоляцією, опір якої не повинен бути меншим за 1 МОм.
- Розміщення електрообладнання в закритих металевих шафах із забезпеченням обмеженого доступу в ці зони.
- Інсталяція захисних блокувань на шафах керування ПЛК VIPA та іншому супутньому обладнанні.

2. Захист від перенапруги на неструмопровідні частини:

- Реалізація системи захисного занулення на корпусах обладнання, які підключені до чотирипровідної мережі зі схемою глухозаземленої нейтралі.
- Інтеграція пристроїв захисного відключення (ПЗВ) з пороговим струмом спрацювання 30 мА на вході шафи керування.
- Забезпечення контролю цілісності нульового провідника та застосування додаткових повторних заземлювачів.

3. Електрозахисні засоби для персоналу:

- Оснащення обслуговуючого персоналу діелектричними рукавичками, килимками для ізоляції, які розміщуються перед шафами керування, а також спеціальним ізольованим інструментом.
- Регулярне проведення вимірювань опору заземлення, який не повинен перевищувати 4 Ом відповідно до вимог для мереж напругою до 1000 В.

Застосовані заходи повністю відповідають нормам актуальної нормативно-правової бази, що включає ДСТУ Б В.2.5-82:2016, ПУЕ (Правила улаштування електроустановок), НАПБА.01.001-14 та інші чинні регламентовані документи.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Параметри мікроклімату всередині приміщень автоматизаційних систем мають відповідати стандартам, передбаченим ДСН 3.3.6.042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень". Для зон, де експлуатується обладнання, зокрема ПЛК, SCADA-системи, силові шафи та насоси, рекомендуються наступні показники мікроклімату, наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 — Основні параметри мікроклімату для виробничих приміщень

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Тепла пора року	21-28	60 при 27, °C	0,1-0,3
Холодна пора року	20-24	до 75	0,1-0,2

З метою підтримання нормативних параметрів мікроклімату передбачено такі заходи:

1. Застосування вентиляційної системи з механічним управлінням;
2. Регулярний моніторинг показників температури та вологості повітря;
3. Використання кондиціонерного обладнання в зоні розташування пристроїв ПЛК та SCADA.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Рівень концентрації шкідливих речовин у повітрі приміщень, де функціонує автоматизована система, має відповідати вимогам, встановленим стандартами ДСТУ-Н Б А.3.2.1:2007 та ГОСТ 12.1.005. Для речовин, які можуть потенційно перебувати у таких приміщеннях, допустимі межі концентрацій визначені як гранично допустимі концентрації (ГДК), значення яких представлено у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 — Перелік можливих забруднювачів повітря і їхні гранично допустимі концентрації

Найменування речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимальноразова	Середньодобова	
Пил	0,5	0,15	4

У рамках проекту заплановано:

1. Організацію системи припливно-витяжної вентиляції;
2. Впровадження автоматизованого моніторингу складу повітря за допомогою газоаналізаторів.

5.2.3 Виробниче освітлення

Освітлення на виробництві має відповідати стандартам, встановленим у ДБН В.2.5-28:2018 та ГОСТ 12.1.046-85. Для робочих зон операторів SCADA, місць розташування ПЛК, а також шаф управління передбачено наступні нормативи освітленості, представлені у таблиці 5.3:

Таблиця 5.3 — Нормовані значення виробничого освітлення

Характер. здорової роботи	Еквівал. розмір об'єкта мм	Роз.	Підроз. Здоров. роботи	Контр. об'єкту з фоном	Характ. фону	Штучне		Прир. $E_{н пр}$	Сум. $E_{н см}$
						Усі	У т. ч від заг.		
Середньої точності	0,5-1,0	IV	а	малий	темний	750	200	0,6-1,2	0,9-1,5

Для забезпечення необхідного рівня освітленості планується встановлення світлодіодних ламп із колірною температурою не менше 200 К.

5.2.4 Виробничий шум

Рівні шуму в приміщеннях, де встановлена автоматизована система, мають відповідати нормам, визначеним ДСН 3.3.6.037-99.

У таблиці 5.4 подано значення допустимих рівнів шуму, які необхідно дотримуватися для забезпечення відповідних умов роботи.

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц									Рівні шуму та еквівалентні рівні шуму, дБА, дБА екв.
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Підприємства, установи, організації										
	103	91	83	77	73	70	68	66	64	-

Для зменшення рівня шумового фону застосовуються методи шумоізоляції, зокрема, для насосного та вентиляційного обладнання.

5.2.5 Виробничі вібрації

Рівні вібрації на робочих місцях мають відповідати вимогам стандарту ГОСТ 12.1.012-90. Параметри допустимих показників вібрації зазначені у таблиці 5.5:

Таблиця 5.5 — Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

Види вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
в приміщеннях для робітників розумової праці (КБ, лабораторії та інш.)	$\frac{0,18}{91}$	$\frac{0,063}{82}$	$\frac{0,032}{76}$	$\frac{0,028}{75}$	$\frac{0,028}{75}$	$\frac{0,028}{75}$	-	-	-	-

Для зменшення вібрацій використовуються демпферні опори для насосного обладнання та амортизатори для шаф управління.

5.2.6 Виробничі випромінювання

Організація захисту від електромагнітного випромінювання здійснена відповідно до норм ДСНіП 3.3.6.096-2002. Значення дозволених рівнів електромагнітного поля подано в таблиці 5.6:

Таблиця 5.6 — Граничні рівні електромагнітного випромінювання

Частота поля Гц	Допустимий рівень (В/м)
60	≤ 25
50	≤ 25

Всі ключові компоненти ПЛК, SCADA та силових модулів монтуються в екрановані шафи із заземленням, що забезпечує зменшення впливу електромагнітних перешкод.

5.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги». Типові правила пожежної безпеки для промислових підприємств і інструкції на окремих об'єктах.

Приміщення, де здійснюється процес пастеризації молока, за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Д (зниженопожежо-небезпечна) – речовини або матеріали, що зазначені для категорії В (крім горючих газів, горючих пилу і волокон, а також негорючі речовини і матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені речовини і матеріали не відносяться до категорії А, Б або В.

Зазвичай для таких будівель, де розташоване це приміщення, характеризується IIIа ступенем вогнестійкості.

До IIIа ступеня вогнестійкості відносяться будинки переважно з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса – з металевих незахищених конструкцій. Огороджувальні конструкції – з металевих профільованих листів або інших негорючих листових матеріалів з негорючим утеплювачем або утеплювачем груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості).

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 5.7.

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 5.8 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 5.8. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств,

гаражів до виробничих, складських, сільськогосподарських будинків і споруд слід приймати за таблицею 5.9 (знаменник).

Таблиця 5.7 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки,	пере-криття між поверхів	елементи суміщених покриттів	
	несучі	само-несучі	зовнішні не-несучі	перегородки				плити	балки
IIIa	REI 60 M0	REI 30 M0	E 15 M1	E1 15 M1	R 15 M0	R 60 M0	REI 15 M1	RE 15 M1	R 15 M0

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвилинах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 30 M0	2	1
Перегородки	1	EI 15 M1	2	1
Перекрытия	2	REI 15 M0	1	2

Таблиця 5.9 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будівель і споруд

Таблиця 5.9 – Протипожежні відстані між виробничими будівлями

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IV, V
III	10/12	10/15	15/18

На території підприємства встановлено 32 вогнегасників ВВК-3,5 [16].

ВИСНОВКИ

У цій бакалаврській кваліфікаційній роботі була створена електромеханічна система автоматизації технологічного процесу пастеризації молочних продуктів на основі програмованого логічного контролера VIPA.

Під час виконання дослідження проаналізовано існуючі рішення автоматизації у харчовій промисловості та вивчено сучасні вимоги до процесу пастеризації молока. Виконано обґрунтований вибір ПЛК VIPA 314 SC як основного інструменту автоматизації, а також SCADA-системи, яка забезпечує візуалізацію та управління процесом.

Розроблено функціональну, структурну та принципову електричну схеми автоматизації пастеризаційного процесу, створено алгоритм управління процесом та спроектовано SCADA-інтерфейс для моніторингу основних параметрів і режимів роботи автоматизованої системи.

Було здійснено підбір ключових засобів вимірювання, як-от датчики температури, тиску та рівня, а також виконавчих механізмів, включаючи регульовальні клапани та насоси. Проведено розрахунки режимів їх роботи та параметрів ПІД-регуляторів для забезпечення ефективного регулювання температурних і контурів рівня у системі.

На основі виконаного моделювання у середовищі Simulink підтверджено адекватність і ефективність розробленого алгоритму управління. Моделювання показало, що система здатна точно підтримувати необхідний температурний режим пастеризації та забезпечувати стабільну подачу молока.

Економічний аналіз продемонстрував, що впровадження розробленої системи сприяє зниженню енергоспоживання й експлуатаційних витрат, а також забезпечує окупність інвестицій приблизно за два роки.

Отримані результати можуть бути успішно впроваджені на харчових підприємствах, що займаються виробництвом молочних продуктів, для підвищення ефективності та надійності технології пастеризації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Dairy Processing Handbook. — Tetra Pak Processing Systems AB, Lund, Sweden, 1995. — 427 с.
2. Машкін М. І., Париш Н. М. Технологія виробництва молока і молочних продуктів. — Київ: Вища освіта, 2006. — 352 с.
3. Луї Пастер: так починалась мікробіологія. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.bsmu.edu.ua/blog/luyi-paster-tak-pochynalas-mikrobiologiya/>
4. Пастеризація. Види пастеризаторів. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ankort.com/ua/pasterizatsiya-vidy-pasterizatorov/>
5. Пастеризація молока; технологія та важливість для виробництва. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://uadairy.com/pasteryzacziya-moloka-tehnologiyi-ta-vazhlyvist-dlya-vyrobnycztva/>
6. Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules / Aidan O'Dwyer. — Dublin Institute of Technology, Ireland, 2006. — 546 с.
7. Siemens VIPA Controls: VIPA System 300S / VIPA Controls GmbH. — Офіційний технічний опис, 2023.
8. SCADA-системи. Практичний посібник / Р. П. Іванов, А. І. Шульгін. — Харків: ХНУРЕ, 2018. — 312 с.
9. ДСТУ Б А.2.4-3-95 (ГОСТ 21.408-93). Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.
10. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання.
11. ДСТУ EN ISO 13849-1:2019 Безпека машин. Частина систем керування, пов'язані з безпечністю.
12. ДСТУ EN 60204-1:2015 Безпека машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги.
13. PLC Programming for Industrial Automation / Kevin Collins. — ResearchGate, 2011.

14. Вимоги до системи CIP-мийки харчових підприємств. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.foodpro.com.ua/articles/clean-in-place-cip>
15. Іванов О.В. Теорія автоматичного керування. — Київ: НАУ, 2021. — 275 с.
16. VIPA Speed7 Studio Documentation. — VIPA Controls GmbH, 2023.
17. IEC 61131-3 Programming Languages for PLC. — International Standard, 2013.
18. WinCC Flexible Engineering Manual. — Siemens AG, 2022.
19. Безпека праці в електроустановках. Навчальний посібник / М. М. Курило. — Київ: НУЕЕ, 2019. — 204 с.
20. Гігієнічна характеристика параметрів мікроклімату виробничих приміщень. — ДСН 3.3.6.042-99.
21. Виробничі шум, вібрації, випромінювання — рекомендації МОЗ України. — 2018.
22. Інструкція з експлуатації пастеризатора Alfa Laval — Офіційна документація, 2023.

цький національний технічний університет
ьтет Електроенергетика та електротехніки
ра Комп'ютеризованих електромеханічних систем та комплексів
вищої освіти перший (бакалаврський)
знань 14 – Електрична інженерія
альність 141 – Електроенергетика, електротехніка, та електромеханіка
ня програма «Електромеханічні системи автоматизації»

ЗАТВЕРДЖУЮ


Завідувач кафедри КЕМСК
к.т.н., доц. Микола МОШНОРІЗ
"18" лютого 2025 року

ЗАВДАННЯ

ІА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Блаху Тимурі Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

ма роботи : «Розробка електромеханічної системи автоматизації
логічного процесу пастеризації молочних продуктів на базі
амованого логічного контролера «VIPA».

рок подання студентом роботи : 03.06.2025р.

хідні дані до роботи : температура пастеризації 72-75 °С, витрати молока
л/год.

іст розрахунково пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
бити): Загальні відомості про технологічний процес пастеризації.
ко-економічне обґрунтування вибору системи автоматизації.
ціональна схема системи автоматизації. Принципова електрична схема
ми автоматизації. Розробка алгоритму процесом пастеризації. Вибір та
нтування елементної бази системи. Охорона праці.

релік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
ень): Структурна схема системи автоматизації. Функціональна схема
ми автоматизації. Принципова електрична схема. Алгоритм роботи
ми (блок - схема). Висновки.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Спеціальна частина	Жуков О. А., к.т.н., доц. каф. КЕМСК	18.02.2025	20.05.2025
Охорона праці	Кобилянський О. В., д.пед.н., зав. каф. БЖДПБ	18.02.2025	20.05.2025

7. Дата видачі завдання : 18.02.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

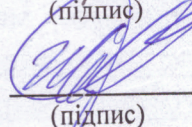
№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт
1	Формування та затвердження теми бакалаврської роботи (БКР)	18.02.2025	
2	Виконання спеціальної частини БКР. Перший рубіжний контроль виконання БКР	06.05.2025	
3	Виконання спеціальної частини БКР. Другий рубіжний контроль виконання БКР	20.05.2025	
4	Виконання розділу «Охорони праці»	20.05.2025	
5	Попередній захист БКР	03.06.2025	
6	Нормоконтроль БКР	03.06.2025	
7	Рецензування БКР	10.06.2025	
8	Захист БКР	19.06.2025	

Здобувач освіти

Керівник роботи


(підпис)

Т. М. Бла
(прізвище та іні)


(підпис)

О. А. Жу
(прізвище та іні)

Додаток А Технічне завдання

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри КЕМСК

к.т.н., доц. Микола МОШНОРІЗ

“4” березня 2025р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

На бакалаврську кваліфікаційну роботу:

**РОБКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОЧНИХ
ПРОДУКТІВ НА БАЗІ ПРОГРАМОВАНОГО ЛОГІЧНОГО
КОНТРОЛЕРА «VIPA»**

08-24.БКР.002.00.000 ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., доцент каф. КЕМСК

Олексій ЖУКОВ

“4” березня 2025р.

Виконавець: ст. гр. ЕМСА-216

Тимур БЛАХ

“4” березня 2025р.

1. Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Розробка електромеханічної системи автоматизації процесу пастеризації молочних продуктів на базі програмованого логічного контролера «VIPA».

Скорочене найменування розробки – «Пастеризація молочних продуктів на базі ПЛК «VIPA».

Замовник – кафедра Комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів Вінницького національного технічного університету.

2. Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем кваліфікаційного проектування.

3. Призначення розробки і галузь використання

Розроблена електромеханічна система автоматизації призначена для автоматичного регулювання процесу пастеризації молока з метою метою забезпечення стабільної температури та продуктивності технологічного процесу. Область застосування – молочні заводи, підприємства харчової галузі.

4. Вимоги до розробки

Система призначена для експлуатації у виробничих приміщеннях підприємств харчової промисловості. Всі дослідження велися теоретично із за допомогою інформаційних ресурсів.

5. Комплектація розробки

Система автоматизації включає в себе : ПЛК VIPA 314SC/DPM, датчики температури Pt 100, датчики тиску Danfoss MBS 1700, датчики рівня, регулюючі клапани Alfa, насоси, частотні перетворювачі Danfos VLT, SCADA – систему Win CC, панель оператора HMI.

6. Технічні характеристики

Діапазон температури – 72-75⁰С, продуктивність системи – 6500 л/год, потужність електроспоживання мережі 10кВ, напруга живлення – 380/220В, інтерфейс обміну даних – Ethernet, Modbus TCP.

7. Джерела розробки

Технічна документація виробників пастеризаторів. Методики розрахунку систем автоматизації.

8. Елементна база

Пластинчастий пастеризатор, ПЛК VIPA 314 IC/DPM, SCADA- система.

9. Конструктивне виконання

Система монтується у промисловій шафі IP54. Усі кабельні з'єднання виконуються до умов ПУЕ.

10. Показники технологічності

Система забезпечує зручне технічне обслуговування, можливість оперативної діагностики несправностей та подальшої модернізації.

11. Стадії і етапи розробки

Стадії і етапи розробки	Термін виконання
Основна частина пояснювальної записки	06.05.2025р.
Графічна частина	20.05.2025р.

12. Технічне обслуговування і ремонт

Підчас експлуатації передбачено періодичні профілактичні огляди та технічного обслуговування обладнання цим займається інженер електрик або інший робітник з цього профілю.

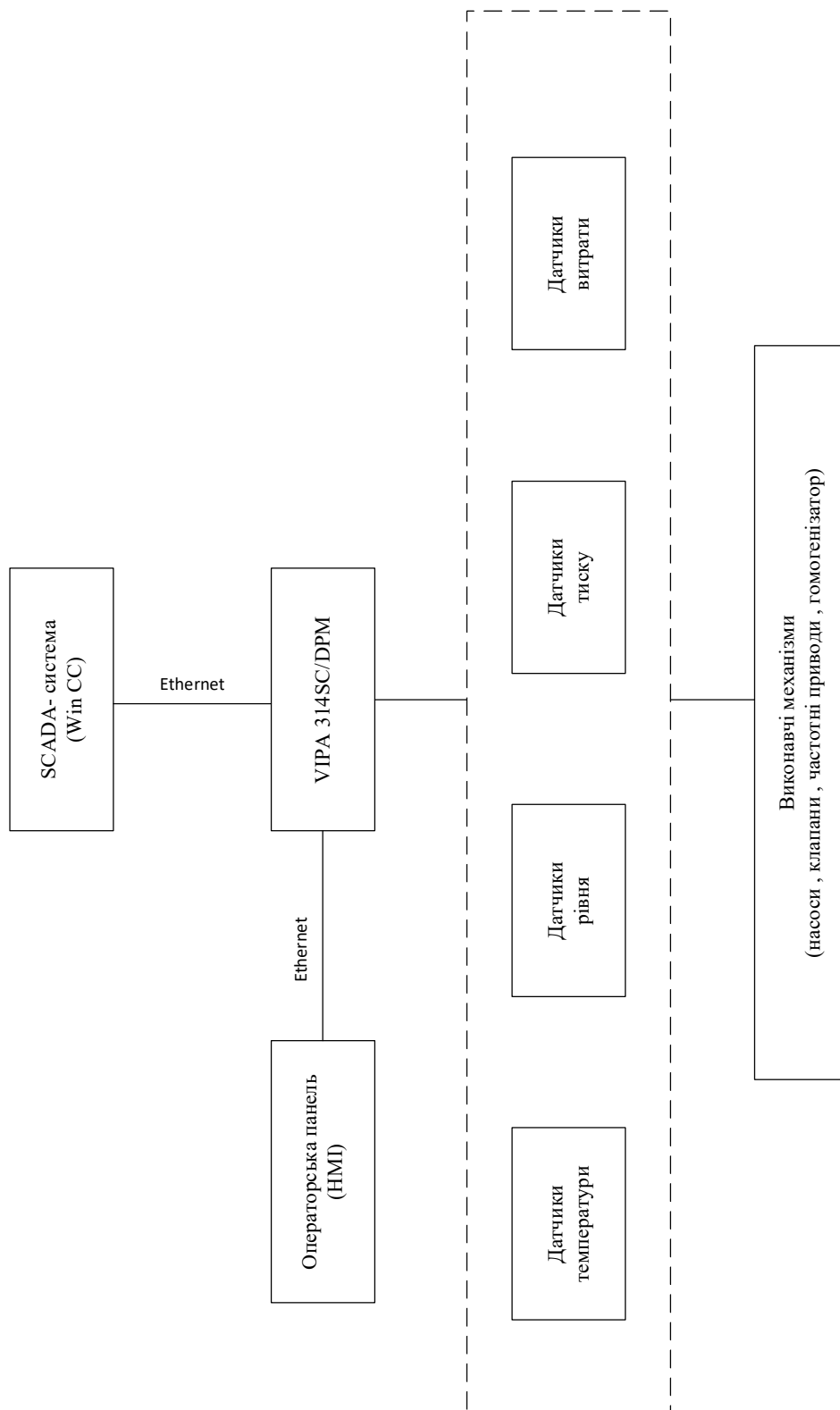
13. Живлення системи автоматизації

Система автоматизації живиться від трифазної мережі 380/220 В, з частотою 50 Гц. Для захисту обладнання передбачено використання автоматичних вимикачів.

Додаток Б Графічна частина

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ
ПРОЦЕСУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ НА БАЗІ
ПРОГРАМОВАНОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРА «VIPA»

[illegible]

Додаток В Ілюстративна частина

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ
ПРОЦЕСУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ НА БАЗІ
ПРОГРАМОВАНОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРА «VІРА»**

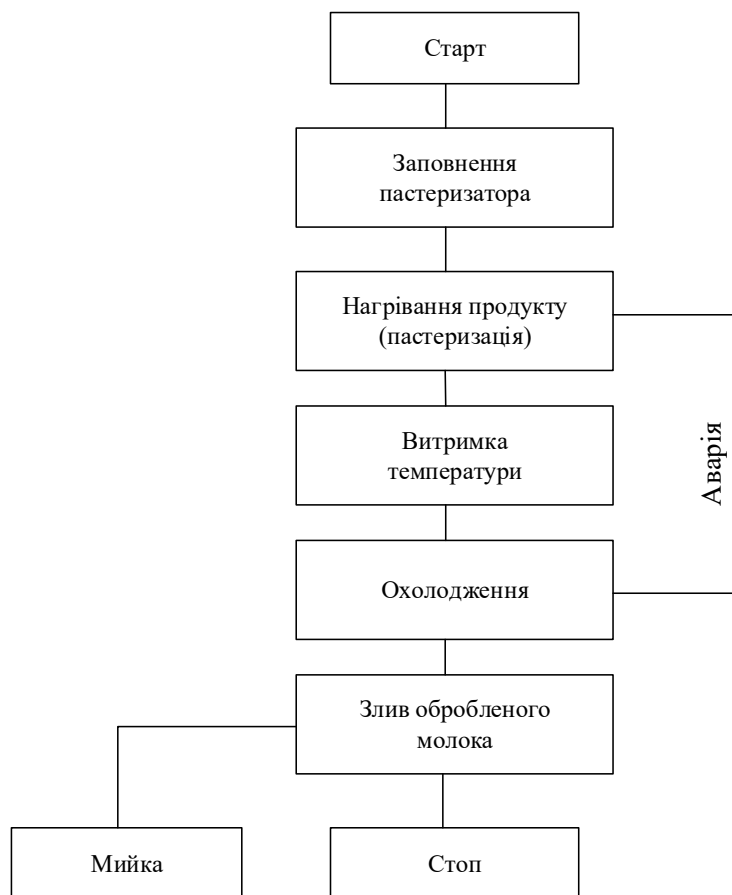


Рисунок В.1 – Алгоритм роботи

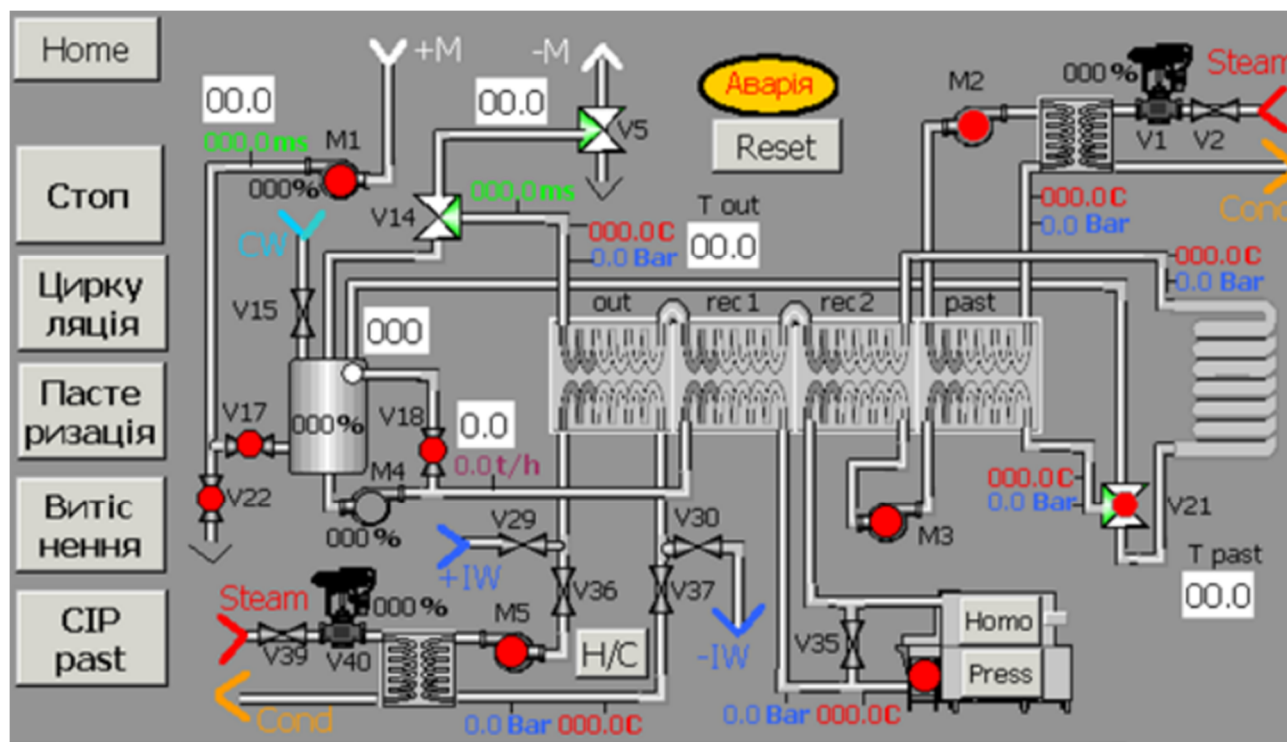


Рисунок В.2 – Мнемосхема, реалізована в SCADA-системі WinCC

Додаток Г Протокол перевірки кваліфікаційної роботи

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Тема роботи: Розробка електромеханічної системи автоматизації технологічного процесу пастеризації молочних продуктів на базі впрограмованого логічного контролера «VIPA».

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

Розділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕМСА-216

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 5,11 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Зав. кафедри КЕМСК Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

Гарант ОП Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

(підпис)

Робота, відповідальна за перевірку

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

Висновок експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

(підпис)

Жуков О.А.

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

(підпис)

Блах Т.М

(прізвище, ініціали)

08-24.БКР.002.00.000

			08-24.БКР.002.00.000				
			Розробка електромеханічної системи автоматизації технологічного процесу пастеризації молочних продуктів на базі програмованого логічного контролера "VIPA"	Літ.	Маса	Масштаб	
№ докумен.	Підпис	Дата					
Блах Т.М.		20.05					
Жуков О.А.		20.05					
				Аркуш 1	Аркушів 1		
Шуляєв А.		20.06		ВНТУ, гр. EMCA-216			
Жуков О.А.		20.06					
Мошноріз М.М.		03.06					