

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра Автоматизації технологічних, електромеханічних
і робототехнічних систем



**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
на тему «Автоматизація процесу керування пастеризацією молока»**

Здобувача Данцевича І.Є.
(прізвище, ініціали)
V курсу групи Аз-50

Керівник доцент Левінський В.М.
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти:
доцент Левінський В.М.
(посада, прізвище та ініціали)
доцент Світий І.М.
(посада, прізвище та ініціали)

(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від «___» _____ 20__ р., протокол № ___

В. о.завідувач(ка) кафедри АТЕіРС _____ О.М. Жигайло
(назва кафедри) (підпис) Підпис (ПІБ)

Одеса – 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	Навчально-науковий інститут Комп'ютерних систем і технологій «Індустрія 4.0» ім. П.М. Платонова
Факультет	Автоматизації та робототехніки
Кафедра	Автоматизації технологічних ,електромеханічних і робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Спеціальність	174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
Освітня програма	Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації та робототехніці

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТЕ і РС

І.М. Світий

05 січня 2026 року

Завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра

Здобувач Данцевич Ігор Євгенович

1. Тема кваліфікаційної роботи «Автоматизація процесу керування пастеризацією молока»
2. Керівник кваліфікаційної роботи Левінський Валерій Михайлович, доцент.
- П.п. 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ від 31 грудня 2025 року, № 743-03 .
3. Строк подання студентом випускної кваліфікаційної роботи – 12 червня 2026 р.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт.
- 5.Зміст кваліфікаційної роботи (розділи, які потрібно розробити):
- Розділ 1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.
- Розділ 2. Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.
- Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР.
- Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом
- Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі
- Розділ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК.
- Розділ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.
- Розділ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Номер розділу	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Керівник кваліфікаційної роботи Світий І.М, доц. каф. АТЕіРС		
Розділи 2, 3	Левінський В.М., доц. каф. АТЕіРС		
Розділ 4	Світий І.М, доц. каф. АТЕ і РС		
Розділ 5	Левінський В.М., доц. каф. АТЕ і РС		
Розділ 6	Степанов М.Т., доц. каф. АТЕ і РС		
Розділ 7	Степанов М.Т., доц. каф. АТЕ і РС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТЕ і РС		

7. Дата видачі завдання 09 січня 2026 р.

Календарний план виконання розділів кваліфікаційної роботи

Номер розділу	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Розділ 1	24 березня 2026 р.	
Розділ 2	31 березня 2026 р.	
Розділ 3	10 квітня 2026 р.	
Розділ 4	15 квітня 2026 р.	
Розділ 5	23 квітня 2026 р.	
Розділ 6	30 квітня 2026 р.	
Розділ 7	08 травня 2026 р.	
Розділ 8	22 травня 2026 р.	

Здобувач _____ Данцевич І.Є.
Підпис ПІБКерівник роботи _____ Левінський В.М.
Підпис ПІБ

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач Данцевич І.Є.
ПІБ_____
Підпис

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра Данцевича Ігоря Євгеновича «Автоматизація процесу керування пастеризацією молока» викладена на 129 сторінках, кількість таблиць 14, рисунків – 103 додатків – 2, джерел з переліку посилань – 15.

Ключові слова: автоматизація, об'єкт керування, система автоматичного керування, імітаційне моделювання, оптимальний параметричний синтез, програмований логічний контролер, АРМ оператора, принципова електрична схема.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування процесом пастеризації молока.

Мета роботи – підвищення техніко-економічних та екологічних показників функціонування процесу пастеризації молока, які досягаються за рахунок підвищення динамічної точності контурів САР, зниження числа аварійних ситуацій, покращення взаємодії з оператором-технологом.

Методи дослідження – методи теорії автоматичного керування, ідентифікації об'єкту керування, імітаційного моделювання.

Отримані результати – розроблені алгоритми керування, які забезпечують підвищення динамічної точності стабілізації регульованих змінних як в перехідних, так і в сталих режимах роботи САР; алгоритми пуску і зупинки обладнання; програми для ПЛК, що реалізують ці алгоритми; розроблені інтерфейси АРМ оператор-технолога і наладчика САР; фрагменти документації технічного забезпечення системи керування.

ЗМІСТ

Назви розділів, підрозділів	Стор.
Перелік умовних позначень	7
Вступ	8
1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК	9
2. Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання	22
3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР	36
4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом	54
5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі	63
6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК	79
7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК	93

8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці	106
Висновки	120
Список посилань	122
Додатки	124

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ

ТП – технологічний процес;

ТА – технологічний агрегат;

АСУ ТП - автоматизована система управління технологічним процесом;

ОК – об'єкт керування;

САК – система автоматичного керування;

ОПС – оптимальний параметричний синтез;

ЗНВ – зона незначимих відхилень;

ПДТ – підвищена динамічна точність;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ПК – персональний комп'ютер;

АРМ – автоматизоване робоче місце

ВСТУП

Одним із стратегічних напрямів розвитку сфери виробництва економік усіх країн є підвищення її ефективності. На сучасному етапі світового науково-технічного прогресу розвиток мікроелектроніки, мікропроцесорної техніки та інформаційних технологій створили, замість аналогової, цифрову основу для розробки та реалізації автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП). Цифрова основа дає АСУТП необмежені обчислювальні ресурси для розвитку алгоритмів всіх рівнів ієрархії управління в напрямку розширення та поглиблення розв'язуваних завдань, що, за фактом, і зробило автоматизацію найдешевшим і швидкоокупним засобом підвищення ефективності існуючих технологічних процесів, причому без змін їхньої техніки та технологій.

1. ОПИС ДІЛЯНКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЙОГО АГРЕГАТИВ ТА ІСНУЮЧОГО РІВНЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ НИМИ. ВИЯВЛЕННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ І КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ МОДЕРНІЗАЦІЇ САК

1.1. Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів

Молоко є одним із основних продуктів харчування людини. Воно відрізняється від інших продуктів харчування тим, що в його складі представлені всі необхідні для організму харчові та біологічно активні речовини у збалансованому стані.

Молоко складається з води та розподілених у ній харчових речовин – жирів, білків, вуглеводів, ферментів, вітамінів, мінеральних речовин, газів. До складу молока входять більше сотні органічних (жир, білки, вуглеводи, ферменти, вітаміни, гормони) та неорганічних (вода, мінеральні солі, пігменти, гази) речовин.

Молоко є складною полідисперсною системою. Молочний цукор – лактоза розчинений у дисперсному середовищі (воді – 85-89%) молока, величина молекул 1-1,5 нм. Солі молока знаходяться у вигляді колоїдних частинок, білкові речовини утворюють колоїдні розчини Жир молока перебуває у теплому стані як емульсії, у холодному – як суспензії.

На молокопереробних підприємствах молоко обробляється в наступних технологічних процесах:

1. Первинна обробка молока
2. Механічна обробка молока
 - 2.1. Сепарування
 - 2.2. Нормалізація
 - 2.3. Гомогенізація
3. Теплова обробка молока

3.1. Пастеризація

3.2. Стерилізація

3.3. Термовакуумна обробка молока

4. Розлив, фасування та пакування молока та молочних продуктів

1.1.1 Основна мета пастеризації - знищення вегетативних форм мікроорганізмів, які є у молоці (збудників кишкових захворювань, бруцельозу, туберкульозу, ящуру та інших.), зберігаючи при цьому його біологічну, поживну цінність і якість.

Ефективність дії пастеризації залежить від двох основних параметрів: температури, до якої нагрівають молоко, та витримки його за даної температури. Залежно від цього розрізняють пастеризацію молока з витримкою та без витримки.

Тривалість витримки та температура пастеризації пов'язані між собою залежністю, за якої тривалість витримки зменшується з підвищенням температури пастеризації.

Пастеризоване молоко має бути попередньо очищене на фільтрах або сепараторах-молокоочисниках і мати задану кислотність, так як при більшій кислотності білки молока при нагріванні згортаються і їх частина осаджується на поверхні теплообміну апаратів, утворюючи шар пригару. У молоці з високою початковою бактеріальною обсіменіння і після пастеризації залишається велика кількість мікроорганізмів. Обсімененість молока перед пастеризацією має бути не більше 10^6 клітин на 1 см^3 .

Наявність піни в молоці також негативно впливає ефективність пастеризації.

У молочній галузі застосовують такі види пастеризації:

- тривалу пастеризацію при температурі 74-78 °C витримкою 30 хв, при температурі 90-99 °C витримкою від 2-15 хв;
- короткочасну пастеризацію при температурі 80, 85-87 або 90-95 °C без витримки;
- високотемпературну пастеризацію при температурі 105-107 °C без

витримки.

Для тривалої пастеризації використовують ємності періодичної дії, а для короткочасної та миттєвої пастеризації – пластинчасті, трубчасті та інші пастеризаційні апарати.

1.1.2 Складемо схему та надамо опис суті технологічного процесу, реалізованого технологічним агрегатом, як цілеспрямованого перетворення матеріальних і енергетичних потоків. Суть технологічного процесу – це цілеспрямоване перетворення продуктових і енергетичних потоків у спеціальному технологічному агрегаті (ТА). Суть технологічного пастеризації молока полягає в перетворенні сирого молока під дією гарячої води, підігрітої водяною парою в пастеризоване молоко, а потім під дією крижаної води в пастеризоване охолоджене молоко. Технологічна схема процесу наведена на рис. 1.1.

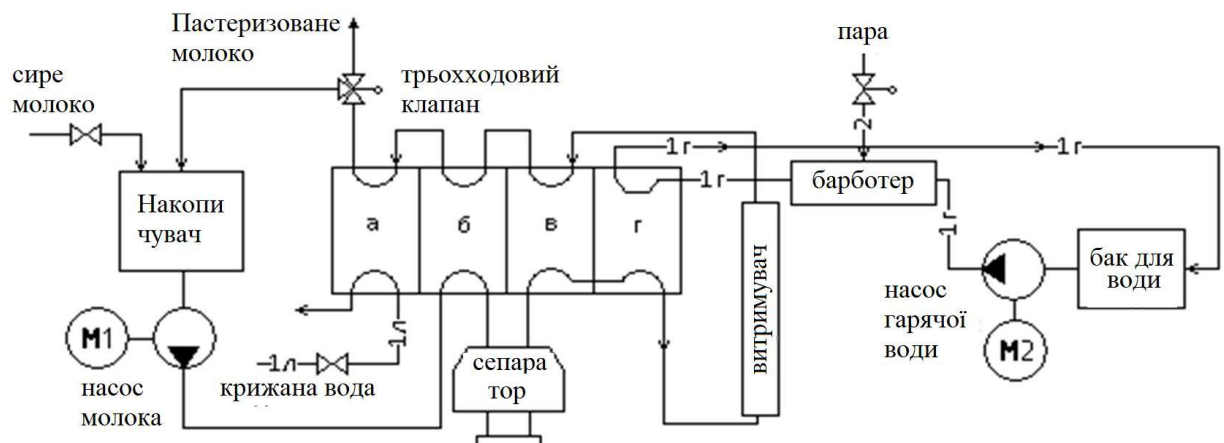


Рис. 1.1 – Технологічна схема пастеризації молока

Сире молоко надходить у накопичувач, звідки насосом подається на попереднє підігрівання і очищення в секції регенерації (б) і (в) і в сепаратор. Очищене і підігріте молоко пастеризується в секції (г) за рахунок нагрівання гарячою водою, що циркулює в замкнутій системі: бак, насос гарячої води, барботер, секція (г). Нагрівання води забезпечується безпосередньою подачею пари у воду. Пастеризоване молоко витримується при температурі пастеризації, а потім, проходячи секції (в), (б), (а), охолоджується молоком,

що знову надходить і крижаною водою, направляється на розфасовку. Якщо температура молока на виході секції пастеризації менше 74 0С, воно повертається на повторну обробку переключенням триходового клапану. При цьому надходження сирого молока припиняється.

1.1.3 Надамо опис конструкції технологічного агрегату та особливостей його експлуатації. Установка пластинчаста пастеризаційно-охолоджувальна призначена для швидкого нагрівання молока в тонкому шарі та закритому потоці і наступному охолодженні його після короткочасної витримки. Технологічний процес теплової обробки молока автоматизований, що забезпечує високі санітарно-гігієнічні умови виробництва, виключає вихід недопастеризованого молока й запобігає його перегрів

Приклад технологічного агрегату - пастеризаційно-охолоджувальна установка з електрокотлом (ПОУЕ) 1000 л/год; 1500 л/год; 3000 л/год на рамі.

Призначена для одночасного швидкого нагрівання та охолодження молока у потоці до заданої температури. Економія енергії до 93% у секції регенерації.



Рис. 1.2 Загальний вигляд ПОУЕ

Найменування	ПОУЕ-1,0	ПОУЕ-1,5	ПОУЕ-3
Продуктивність, л/год	1000	1500	3500
Температура, °С			
-продукту на вході	6	6	6
-пастеризації продукту	78+/-2	78+/-2	78+/-2
-продукту на виході без охолодження	11	11	11
-продукту на виході з охолодженням	4...6	4...6	4...6
Регенерація тепла, %	93	93	93
Встановлена потужність, кВт	30	48	48
Потужність у режимі пастеризації, кВт	15	18	24
Час витримки, сек	20	20	20
Габаритні розміри, мм	2250x1300x1800	2500x1385x1810	2700x1450x2000
Маса, кг	460	610	800

Рис. 1.3 Технічні характеристики ПОУЕ

Пастеризатор конструктивно являє собою пластинчастий теплообмінник, що складається з декількох секцій в залежності від завдань, що виконуються. Пластини з харчової нержавіючої сталі AISI 316, товщина пластини 0,5 мм, витримує робочий тиск до 10 атм, гумове ущільнення EPDM НТ витримує температуру до 150°C.

При збиранні апарату і стисканні пластин утворюються дві ізольовані системи герметичних каналів. В одному каналі рухається гаряче середовище, а в другій – холодне. Зібрані пластини об'єднуються в секції. Всередині секції пластини групуються в пакети, в каналах яких продукт рухається паралельно.

Зрівнювальний бак являє собою ємність з патрубками для входу і виходу продукту. Всередині баку встановлено поплавковий регулюючий клапан, що підтримує сталий рівень продукту в баці. Відцентровий насос призначено для забору молока з баку і подачі його до пластинчастого теплообмінного апарату.

В сепараторі-молокоочиснику підігріте в апараті молоко очищається від механічних домішок.

Витримувач являє собою термоізовану циліндричну трубу великого діаметру, змонтовану окремо на рамі.

1.1.4 Сформулюємо умови, при яких можливо й економічно доцільно

реалізувати розглянутий технологічний процес. Мета ведення процесу – отримання пастеризованого молока, за умови збереження смакових та поживних якостей. При промисловому виробництві досягнення мети може бути виправдано тільки тоді, коли технологічний процес має сенс реалізувати, коли виконується цілий ряд вимог до технологічного процесу.

Технологічний процес пастеризації молока є неперервним технологічним процесом, його доцільно реалізовувати, якщо:

- є достатній запас сирового молока для забезпечення роботи установки як мінімум на 1 зміну;
- є мінімально припустимий тиск пари в паропроводі (0,2МПа);
- є вода, як проміжний теплоносій;
- є охолоджувальна (крижана) вода з температурою 2...4 °С;
- є електроенергія в колах електричного живлення із параметрами мережі 230В ± 10%, 50 Гц;
- є місце для відвантаження готового продукту.

1.1.5 Проведемо параметризацію схеми технологічного процесу і загальна характеристика параметрів і їх взаємозалежностей. Технологічний процес пастеризації молока є теплообмінним процесом, пов'язаним з передачею тепла від пари через гарячу воду до молока. Гаряча вода утворюється барботуванням пари до води в системі обігрівання секції пастеризації теплообмінника. Охолодження молока здійснюється крижаною водою перед подачею на фасування. Проведемо параметризацію технологічної схеми, для чого фізичні, біологічні та інші параметри середовищ ТП та компонентів ТА, що змінюються в ході цього процесу, нанесемо на схемі ТП. Результати параметризації наведені на рис. 1.4.

Позначення на параметризованій технологічній схемі:

F_c , θ_c , C_c – витрати, температура і склад сирового молока;

F_p , θ_p , C_p – витрати, температура і склад пастеризованого молока;

F_r , P_r , – витрати і тиск пари;

F_v , θ_v – витрати і температура гарячої води;

I_e – струм електроприводів;

F_e – витрати електроенергії;

V_e – напруга живлення в електромережі;

U – зміна положення регулюючого органу подачі гарячої води;

θ_n , M_n – температура і вологість навколишнього повітря;

Q – знос механічних частин ПОУ та відкладання на стінках теплообмінників.

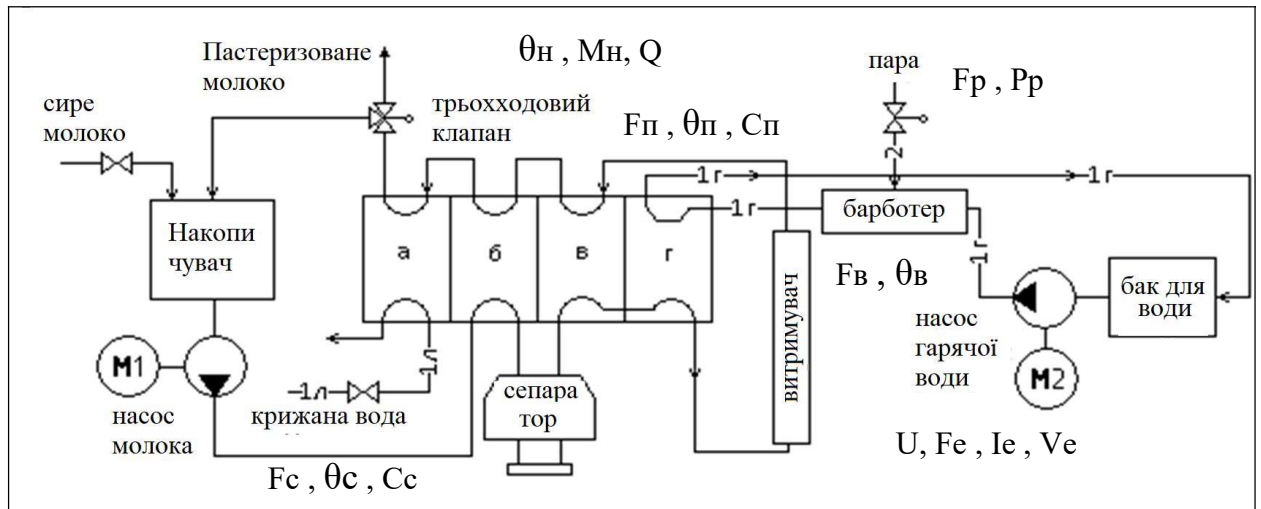


Рис. 1.4 – Параметризована технологічна схема процесу пастеризації молока

1.1.6 Проведемо первинний аналіз параметрів ТП та ТА за п.1.1.5, у ході якого їх поділяємо на дві групи : а) параметри, значення яких або характер їхньої зміни, регламентовані Правилами ведення ТП та експлуатації ТА. Вони відображають ціль керування; б) параметри, зміни значень яких впливають регламентовані параметри. Вони відображають мінливі умови, при яких ця ціль повинна досягатися.

1.1.7 РОзглянемо нормативи ведення технологічного процесу і роботи технологічного агрегату. Основу нормативів складають три основних регламенти.

Технологічний регламент – визначає умови, при яких у результаті технологічного процесу буде отримано продукт із заданими властивостями. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналу технологічних параметрів. Для технологічного процесу пастеризації

молока такими параметрами є температура пастеризації молока θ_p .

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів технологічного обладнання. Для пастеризаційно-охолоджувальної установки до таких параметрів доцільно віднести споживаний струм двигунів I_e .

Техніко-економічний і екологічний регламент визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. Він являє собою набір номінальних та гранично-припустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів. До цієї групи параметрів можна віднести F_p , S_p – витрати і склад пастеризованого молока, витрати електроенергії F_e , витрати пари F_p .

1.1.8 Розглянемо наслідки виходу технологічних і експлуатаційних параметрів за регламентні допуски. Відхилення параметрів технологічного процесу від регламентних значень, що викликані зміною параметрів, характеризують умови ведення процесу навіть при досить ефективному керуванні процесом, можуть перевищувати встановлені допуски.

Основним режимним параметром процесу є температура пастеризованого молока.

Відхилення температури пастеризації молока нижче гранично припустимих значень може призвести до недопастеризації та швидкого псування молока. Перевищення температурою пастеризації молока верхнього гранично припустимого значення може призвести до пригоряння готового продукту та різкого погіршення його органолептичних показників. В обох випадках порушення регламенту веде до погіршення якості готового продукту і до збільшення виходу браку готової продукції.

Допуски на відхилення поточних (режимних) значень регламентованого параметру від номінального прийнято розділяти і задавати у вигляді допусків на тривалі та короточасні відхилення. Аналіз нормативів ведення технологічного процесу пастеризації молока оформимо у вигляді таблиці

регламентів 1.1.

Табл. 1.1 Таблиця регламентів

№ п / п	Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Номинальні значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Довготривалі	Короткочасні	
					Величина	Величина	Час
1	Температура молока на виході секції пастеризації	$\theta_{\text{п}}$	$^{\circ}\text{C}$	78	± 1	± 2	60с

1.1.9 Розглянемо параметри, що характеризують умови ведення технологічного процесу та експлуатації технологічного агрегату. Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від номінальних (і можуть виходити за межі допусків) внаслідок зміни умов, у яких ведеться процес. Ці умови також характеризуються певними параметрами і можуть бути згруповані за деякими ознаками.

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. Для процесу пастеризації молока до цієї групи параметрів віднесемо параметри F_c , θ_c , C_c – витрати, температура і склад сирого молока.

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного обладнання ззовні й витрачається на зміну властивостей продуктів. Для процесу пастеризації молока до цієї групи параметрів віднесемо P_p , – тиск пари; F_v , θ_v – витрати і температура гарячої води; V_e – напруга живлення в електромережі

Механічні (або інші специфічні) параметри технологічного обладнання характеризують стан її робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо зміну положення регулюючого органу, що змінює витрати гарячої води до секції пастеризації U , θ_n , M_n – температура і вологість навколишнього повітря; Q – знос механічних частин ПОУ та відкладання на стінках

теплообмінників.

1.1.10 Проведемо формалізацію параметризованої схеми технологічного процесу з метою одержання його параметричної схеми. Параметризована схема ТП, представлена на рис. 1.4, має змістовний характер. Подальшим кроком у формалізації опису взаємозв'язків між параметрами ТП є перехід до параметричної схеми ТП (рис. 1.5).

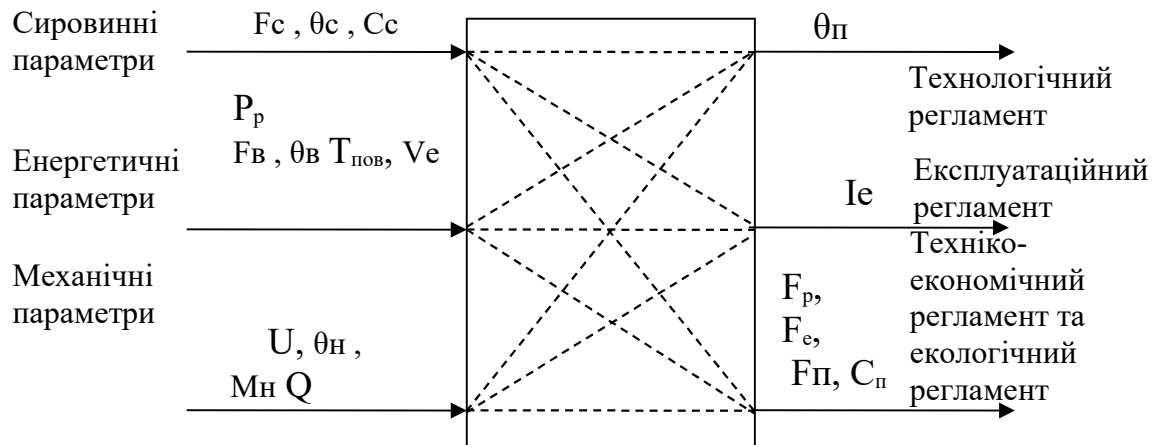


Рис.1.5 – Формалізована параметрична схема технологічного процесу пастеризації молока

При цьому ті параметри, які відображають мету функціонування об'єкту моделювання та додаткових вимог до нього, тобто регламентовані параметри будуть вихідними, а параметри, що відображають умови функціонування об'єкту - вхідними. Зв'язок між вхідними і вихідними параметрами – причинно-наслідковий. У рамках даної схеми ці зв'язки задаються тільки на якісному рівні.

1.2 Аналіз існуючого рівня автоматизації ділянки ТП

Із матеріалів переддипломної практики відомо, що на підприємстві температура пастеризації молока $\theta_{\text{п}}$ стабілізується найпростішою одноконтурною САР, що є штатною системою і реалізована на апаратурі агрегатного комплексу «Контур». Задане значення $\theta_{\text{п}}$, що встановлене для САР, дорівнює 78°C , тобто $\theta_{\text{пзд}}=78^{\circ}\text{C}$. Зниження $\theta_{\text{пзд}}$ для штатної САР призводить до частих порушень допуску на $\theta_{\text{п}}$, коли температура пастеризації молока $\theta_{\text{п}}$ знижується нижче допустимого значення $\theta_{\text{пд}}=78^{\circ}\text{C}$. При цьому

спрацьовує захист і молоко повертається на повторну пастеризацію.

Оператор-технолог отримує інформацію про поточне значення температури θ_p з індикатора, задане значення $\theta_{пзд}$ може змінити за допомогою потенціометра, які встановлені на щиті керування установкою безпосередньо в цеху.

Пуск та зупинка електроприводів насосів і клапанів здійснюється оператором вручну за допомогою кнопок, які встановлені на щиті керування установкою. Індикація про спрацювання цих засобів виводиться на світлові індикатори на щиті.

1.3 Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК

Основні параметри ТП, зміну значень яких можна розглядати, як збурення, що діють на САК температури пастеризації молока, це тиск пари в паропроводі P_p і температура сирого молока θ_c , що йде на переробку.

Зміна значень P_p може відбуватись в досить широкому діапазоні через те, що на підприємстві є досить багато споживачів пари і витрати пари весь час змінюються, що впливає і на тиск P_p .

Зміна температури сирого молока θ_c відбувається через зміну температури навколишнього повітря θ_n , але ці зміни набагато повільніші, ніж зміни тиску гріючої пари P_p .

В цілому ці зміни θ_c і P_p впливають на температуру пастеризованого молока θ_p і штатна система автоматики не в змозі утримувати θ_p на заданому рівні $\theta_{пзд}$. Тому при $\theta_p=74^\circ\text{C}$ спрацьовує система захисту і молоко повертається на повторну пастеризацію. А це викликає додаткові витрати енергоносіїв – пари та електроенергії F_p , F_e .

Щоб запобігти цьому, оператору-технологу доводиться збільшувати задане значення системі регулювання аж до значення $\theta_{пзд}=80^\circ\text{C}$, хоча можна було би задовольнитись і меншими значеннями $\theta_{пзд}$, якби система регулювання мала б більшу точність. Збільшення $\theta_{пзд}$ також приводить до

збільшення витрат енергоносіїв.

Оскільки пуск та зупинка електроприводів здійснюється оператором вручну, то можливі і його помилки в послідовності їх вмикання і вимикання. Також в існуючій системі керування функції блокувань від імовірних нештатних ситуацій, коли в установку не подається пар або сире молоко, також виконуються вручну оператором, що може призвести до браку продукції.

Потенційним джерелом економічної ефективності від впровадження поліпшених функцій регулювання може бути зниження середнього значення температури пастеризації молока θ_p , оскільки відомо, що зниження цього показника на 1°C дає економію пари близько 4 %.

Витрата енергії пари на 1 тону пастеризації молока складає 0,2 Гкал. За рік при 300-х робочих днях підприємство виробляє близько 15000 тон продукції, на що втрачається 3000 Гкал тепла. Таким чином, навіть при зниженні температури пастеризації молока θ_p всього на 1°C можна очікувати на економію 120 Гкал тепла.

Від поліпшення функцій логічного керування можна очікувати економію від зменшення браку продукції на рівні 10%. Якщо за рік брак складає 75 тон, то після поліпшення функцій він зменшиться до 67,5 тон. Крім того, автоматизація функцій логічного керування поліпшить умови праці оператора-технолога.

Кінцевою економічною ціллю модернізації системи керування процесом пастеризації молока в ПОУ є поліпшення функцій регулювання та логічного керування. Ця ціль може бути досягнута, якщо система регулювання забезпечить підвищену динамічну точність стабілізації температури пастеризації молока, що дасть змогу зменшити задане значення $\theta_{пзд}$ з 80°C до 78°C при умові збереження регламентів.

Реалізація функцій логічного керування в автоматичному режимі повинна здійснювати пуск, зупинку обладнання ПОУ та блокування передаварійних ситуацій.

1.4 Висновки за розділом

Подальше підвищення економічної ефективності пастеризації молока засобами автоматичного керування пов'язані із створення системи автоматичного регулювання підвищеної динамічної точності, реалізацією алгоритмів логічного керування пуску і зупинки пастеризатора та розробки автоматизованого робочого місця оператора-технолога.

2. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ДОТРИМАННЯ РЕГЛАМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, РОЗРОБКА І РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЛЕКСУ ЙОГО МОДЕЛЕЙ ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ

2.1. Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання

Конкретизуємо мету мети і задачі керування об'єктом, визначимо його регульовані координати. Загальною метою функціонування підприємства в цілому є виконання планових завдань або договірних зобов'язань щодо номенклатури та обсягу продукції, а також отримання при цьому певного економічного ефекту. Останній характеризується показниками прибутку, собівартості, розмірами виплачених штрафних санкцій і т.і.

Декомпозиція загальної («глобальної») мети для більш низьких рівнів виробничої ієрархії приводить до наступних цілей:

- а) на рівні окремого технологічного процесу – координація роботи технологічного обладнання, на якому реалізується процес;
- б) на рівні окремих одиниць технологічного обладнання (локальні цілі) – виконання технологічних, експлуатаційних і техніко-економічних регламентів, зокрема – оптимізація роботи окремих одиниць обладнання («локальна» оптимізація).

Звідси задачу керування можна розділити на:

- а) задачу регулювання, коли необхідно забезпечити виконання вимог регламенту. Отже, змінні, що відповідають технологічним і експлуатаційним параметрам будуть регульованими змінними об'єкту керування;
- б) завдання умовної оптимізації, коли при дотриманні вимог регламенту додатково відповідно до наперед сформульованим критерієм, вирішуються задачі оптимізації процесу.

Для технологічного процесу пастеризації молока в якості регульованої координати доцільно обрати температуру пастеризації $\theta_{\text{п}}$.

Проведемо вибір керуючих дій об'єкту регулювання. Необхідною умовою вирішення задач керування є наявність керуючих дій, що повинні бути вхідними змінними (координатами) ОК. Для задач регулювання, такими управляючими діями, насамперед, є дії, що цілеспрямовано можуть змінювати витрати матеріальних і енергетичних потоків, а саме – положення регулюючих органів. Кількість керуючих дій повинно бути рівною кількості регульованих змінних.

Для технологічного процесу пастеризації молока до керуючих дій доцільно віднести: U – положення керуючого органу, який може змінювати витрати гарячої води в секцію пастеризації ПОУ. Технічно цей керуючий орган являє собою насос із електроприводом, частота обертання якого визначається перетворювачем частоти.

Виділимо та класифікуємо збурення об'єкта регулювання. Після того, як визначені управляючі дії, всі інші вхідні змінні (див. рис. 1.5) відносять у розряд збурень і шумів, тобто таких дій середовища, зміна яких порушує хід технологічного процесу і режими роботи технологічного агрегату. Шуми принципово відрізняються від інших збурень тим, що наслідки їх дії на регульовані змінні компенсувати за рахунок керуючих дій неможливо через велику інерційність та запізнення каналу управління. Тому, якщо в складі регульованих змінних є високочастотні складові, їх фільтрують до подачі у керуючий пристрій.

Збурення за їх наслідками можна розділити на:

- а) координатні, що призводять до зміни змінних у моделі об'єкту керування;
- б) параметричні, що приводять до зміни параметрів моделі об'єкту керування.

Інформацію про найбільш сильні координатні збурення доцільно використовувати в керуючому пристрої для підвищення якості керування. Тому, у цьому випадку, повинна бути технічна можливість виміряти їх за допомогою датчиків. Відповідно такі збурення називають контрольованими

збуреннями.

Всі інші збурення відносять до неконтрольованих координатних збурень. Хоча їм відповідають зовсім різні параметри ТП, формально їх поєднують у групи неконтрольованих координатних збурень (за числом керуючих дій). Вони мають загальні (контрольовані) наслідки – змушують змінюватися керовані змінні. Еквівалентні координатні неконтрольовані збурення вважають діючими адитивно або керуючих дій або керованих змінних. У цих випадках їх фізична інтерпретація і розмірність їх одиниць вимірювання визначається точкою їх додавання.

Параметричні збурення при керуванні ТП, як правило, є неконтрольованими. Для технологічного процесу пастеризації молока параметричні збурення є істотно більше низькочастотними у порівнянні з координатними. У зв'язку з цим у подальшому будемо нехтувати параметричними збуреннями і вважати, що параметри математичних моделей об'єкту керування не змінюються. Також будемо вважати, що в складі регульованих змінних відсутні високочастотні складові, викликані шумами.

Для процесу пастеризації молока всі вхідні дії, крім керуючої дії, віднесемо до неконтрольованих збурень.

Складемо структурну (координатну) схеми об'єкту регулювання на основі наведеної вище класифікації, яка є найбільш загальною (концептуальною) моделлю технологічного процесу пастеризації молока як об'єкту регулювання (ОР).

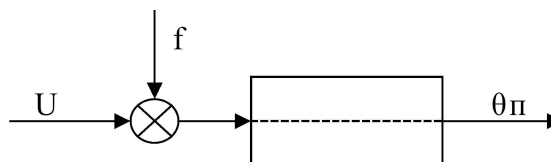


Рис. 2.1 - Структурна схема технологічного процесу пастеризованого молока як об'єкта регулювання

U – керуюча дія (положення керуючого органу, який змінює витрати гарячої води в секцію пастеризації ПОУ);

f_n – неконтрольовані збурення;

θ_p – регульована змінна (температура пастеризованого молока).

2.2. Ідентифікація (розробка моделей) каналів перетворення об'єкта регулювання

Проведемо апіорний аналіз статичних і динамічних властивостей каналів керування. Виходячи з фізичної суті теплообмінних процесів, що протікають в ПОУ, відомо, що математично ці процеси можуть бути описані нелінійними диференційними рівняннями. Але номінальний режим функціонування ПОУ як ОР пов'язаний з порівняно вузьким діапазоном зміни температури пастеризованого молока як регульованої координати ($70 \dots 80^\circ\text{C}$). А в такому діапазоні процеси можуть бути описані лінійними диференційними рівняннями, тобто припустимою є лінеаризація моделі ОР.

При зміні керуючої дії – зміні витрат гарячої води в секцію пастеризації температура молока θ_p на виході з неї також почне змінюватися, але з часом встановиться на новому рівні. Тому можна вважати, що по каналу регулювання $U - \theta_p$ об'єкт регулювання має властивість до самовирівнювання.

Таким чином, для ПОУ як ОР можуть бути обрані статичні стаціонарні математичні моделі у вигляді лінійних диференційних рівнянь з постійними коефіцієнтами.

Оскільки в діючій ПОУ при роботі можна змінювати значення керуючої дії $U(t)$ і реєструвати значення температури молока $\theta_p(t)$ у часі, то для визначення коефіцієнтів диференційних рівнянь можна застосувати експериментальний метод. З розумінь простоти організації експериментів і мінімізації витрат часу на обробку їх результатів, доцільно використовувати зміни $U(t)$ у вигляді ступінчастої дії.

Сплануємо активний експеримент на об'єкті для обраних вхідних дій і отримання реакцій на них у ході натурного або уявного експериментів.

План проведення активного експерименту:

1. За допомогою зміни управляючої дії $U(t)$ домагаємося значення регульованої координати в околиці її номінального значення. Для ПОУ як ОР значенню $U=50\%$ х.р.о. відповідає значення регульованої координати $\theta_{п} = 74^{\circ}\text{C}$.

2. Чекаємо закінчення перехідного процесу в каналі та настання сталого режиму, при якому вихідна змінна перестане змінюватися.

3. Змінимо управляючу дію $U(t)$ ступінчастим чином на 10% х.р.о., відзначивши при цьому момент початку його зміни.

4. Реєструємо зміну регульованої змінної $\theta_{п}(t)$ до настання нового сталого режиму.

Результати активного експерименту на рис. 2.2.

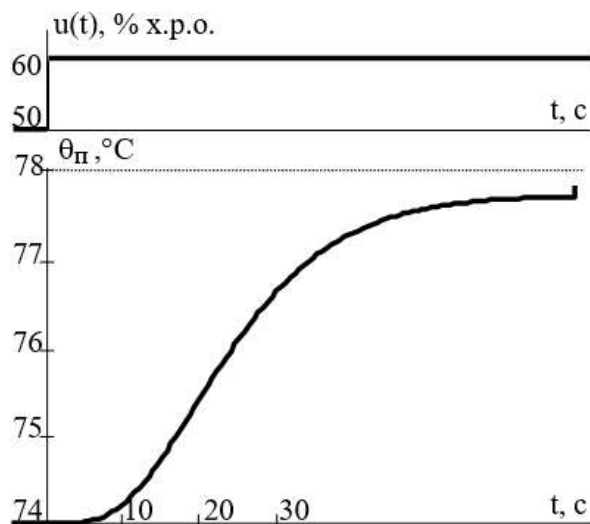


Рис. 2.2 – Результати активного експерименту –
перехідна характеристика ОР по каналу $U - \theta_{п}$

Проведемо аналіз отриманої в ході експерименту інформації, обґрунтування та вибір структури моделей каналів (структурна ідентифікація моделей). За результатами активних експериментів (рис. 2.2) ОР по каналу керування $U - \theta_{п}$ має властивість до самовирівнювання, а отже модель цього каналу може бути описана передатними функціями інерційної ланки першого та другого порядку:

$$W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{T_0 p + 1}; \quad W_0(p) = \frac{K_0 e^{-\tau_0 p}}{(T_0 p + 1)^2}. \quad (2.1)$$

Визначимо методики для проведення параметричної ідентифікації моделей першого та другого порядків. Для параметричної ідентифікації моделей ОР зі статичними властивостями необхідно знайти коефіцієнт передачі ОР (K_0), сталу часу (T_0) і час запізнення (τ_0) в передатних функціях (2.1).

Для каналу $U - \theta_n$:

Коефіцієнт передачі ОК визначаємо за формулою:

$$K_o = \frac{\Delta \theta_n}{\Delta U} = \frac{78,0 - 74,0}{60 - 50 = 0,4 \frac{^\circ C}{\% \text{хро}}}$$

Для ідентифікації сталої часу T_0 та часу запізнення τ_0 як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методику „двох загальних точок”. Відповідно до неї, для моделі 1-го порядку:

$$\tau_o = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}); \quad T_o = \frac{(t_{0,7} - \tau_o)}{1,2};$$

для моделі 2-го порядку:

$$\tau_o = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}); \quad T_o = (t_{0,7} - \tau_o) / 2,4.$$

Відповідно до методики спочатку визначаємо для моделі 1-го порядку:

$$\begin{aligned} \Delta \theta_{1,0} &= 78 - 74 = 4 \text{ } ^\circ C \\ \theta_{e \ 0,33} &= 0,33 \cdot 4 + 74 = 75,3 \text{ } ^\circ C \\ \theta_{e \ 0,7} &= 0,7 \cdot 4 + 74 = 76,8 \text{ } ^\circ C \end{aligned}$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.3) – будуємо горизонтальні прямі від рівнів $\theta_{0,33}$ та $\theta_{0,7}$ до перетину із графіком перехідної характеристики по каналу $U - \theta_n$, а потім звідти опускаємо перпендикуляри до перетину з віссю часу, і знаходимо відповідно $t_{0,33}=27,4$ с, $t_{0,7}=47,5$ с.

Тоді:

$$\begin{aligned} \tau_o &= 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 27,8 - 47,5) = 18 \text{ с} \\ T_o &= \frac{(t_{0,7} - \tau_o)}{1,2} = \frac{(47,5 - 18)}{1,2} = 24,6 \text{ с} \end{aligned}$$

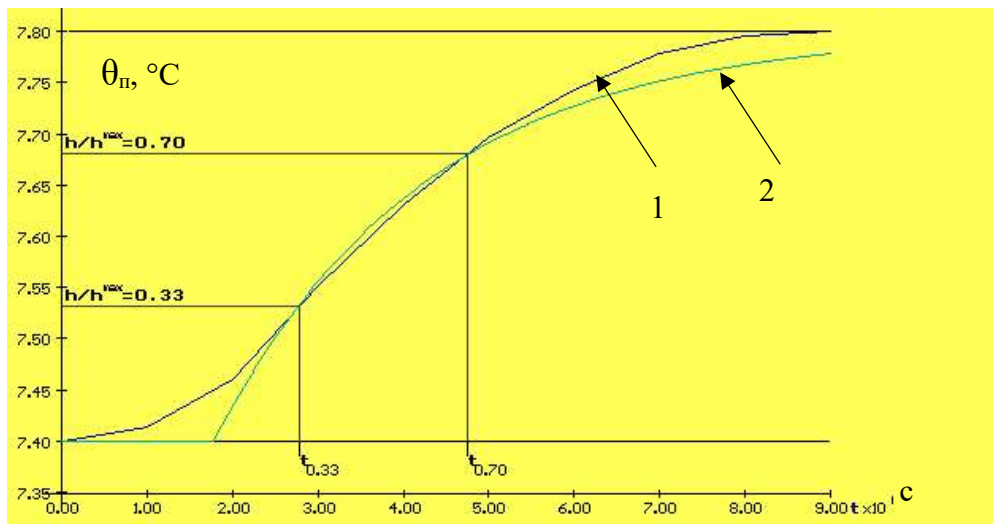


Рис. 2.3 Графічні побудови для ідентифікації моделі ОР 1-го порядку

1- експериментальна перехідна характеристика;

2 – бажана перехідна характеристика моделі 1-го порядку

Передатна функція моделі ОР 1-го порядку буде мати вигляд:

$$W(p) = \frac{0,4 \cdot e^{-18p}}{24,6p + 1}$$

Якщо параметри моделі ОК 1-го порядку були визначені правильно, то її графік повинен пересікати графік перехідної характеристики якраз на рівнях $\theta_{п\ 0,33}$ та $\theta_{п\ 0,7}$ (див. рис. 2.3).

Далі для моделі ОР 2-го порядку додатково визначаємо:

$$\theta_{п\ 0,19} = 0,19 \cdot 4 + 74 = 74,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.4) знаходимо $t_{0,19} = 21,7 \text{ с}$, $t_{0,7} = 47,5 \text{ с}$.

Тоді:

$$\tau_o = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 21,7 - 47,5) = 8,8 \text{ с}$$

$$T_o = \frac{(t_{0,7} - \tau_o)}{2,4} = \frac{(47,5 - 8,8)}{2,4} = 16,1 \text{ с}$$

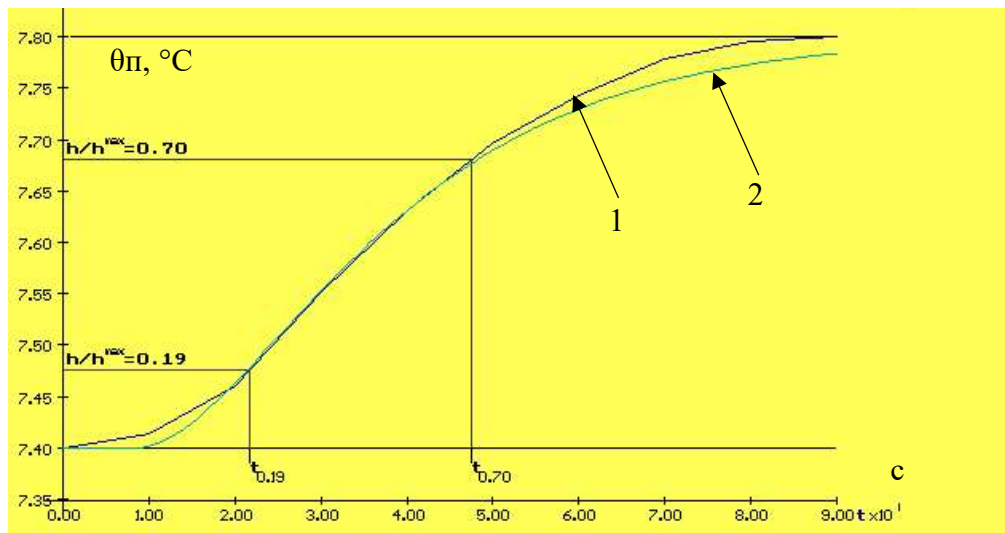


Рис. 2.4 Графічні побудови для ідентифікації моделі ОР 2-го порядку

1- експериментальна перехідна характеристика;

2 – бажана перехідна характеристика моделі 2-го порядку

Передатна функція моделі ОК 2-го порядку буде мати вигляд;

$$W(p) = \frac{0,4 * e^{-8,8p}}{(16,1p + 1)^2}$$

Якщо параметри моделі ОК 2-го порядку були визначені правильно, то її графік повинен пересікати графік перехідної характеристики якраз на рівнях $\theta_{п\ 0,19}$ та $\theta_{п\ 0,7}$ (див. рис. 2.4).

Отримані результати параметричної ідентифікації ОР за обома каналами об'єднаємо в таблицю 2.1.

Табл. 2.1 Результати ідентифікації динамічних властивостей ОР

Канал ОК	Передатна функція 1го порядку	Передатна функція 2го порядку
U- P _B	$W(p) = \frac{0,4 * e^{-18p}}{24,6p + 1}$	$W(p) = \frac{0,4 * e^{-8,8p}}{(16,1p + 1)^2}$

Проведемо ідентифікацію моделей статички каналів управління об'єкту регулювання з істотно нелінійними властивостями. Для цього розглянемо доцільний метод експериментальних досліджень властивостей каналів з метою отримання необхідної інформації.

Статичні властивості ОК описуються статичними характеристиками (моделями) каналів. Вони відображають взаємозв'язок між вхідними і вихідними координатами (змінними) каналів ОК в статично сталих режимах, тобто після закінчення всіх перехідних процесів цих змінних.

Кінцевим результатом ідентифікації математичної моделі статички є отримання функціональної залежності виду $y = \Phi(\vec{x})$ на основі експериментальних даних, де $\vec{x} \in [\vec{u}, \vec{f}]$ вхідні змінні ОР.

Значення y , отримані в результаті експерименту, завжди мають випадкову складову, обумовлену дією некерованих і неконтрольованих змінних, похибками вимірювання y і x . У цьому випадку залежність $y^M = \hat{y} = \Phi(\vec{\hat{x}})$ визначається з використанням статистичних ("усереднюючих") методів, і вона називається регресією, регресійною залежністю або рівнянням регресії.

У теорії експерименту змінні x називають факторами, а їх функцію y – відгуком. Відповідно до цієї термінології експеримент, проведений для ідентифікації моделі, де функція залежить від однієї змінної, називають однофакторним, а функція багатьох змінних – багатфакторним.

Експерименти для отримання математичних моделей статички можуть бути пасивними або активними (як і при отриманні моделей динаміки). Активні експерименти за планом їх проведення можуть бути звичайними і оптимальними. Оптимальні плани розробляються на основі теорії методів планування експериментів.

Сплануємо активний експеримент на об'єкті для реалізації обраного методу та відображення результатів натурного або уявного експериментів у вигляді оцінок статичних характеристик.

Суть планування експерименту полягає у виборі діапазонів зміни факторів, кроку збільшення факторів, послідовності їх зміни та числа повторів цих змін.

А. Діапазони зміни факторів в експерименті фактично визначає діапазон, де отримана модель може коректно використовуватися. Тому вони повинні відповідати реальним діапазонам зміни змінними, обумовлених факторами.

Б. Крок факторів повинен бути такими, щоб при перекритті необхідного діапазону їх зміни кількість дослідів не була б занадто великою або малою – найчастіше рекомендується 3...6 дослідів.

В. Кількість повторів (для компенсації випадкової складової) визначається інтенсивністю випадкових складових у вхідних і вихідних змінних ОК, кількістю факторів (цілеспрямовано змінюваних вхідних змінних) витратами часу та інших обставин. Кількість повторів приймається рівною 3...5. У деяких випадках повторів можна не робити взагалі.

Г. Послідовність зміни факторів особливо при їх великій кількості доцільно вибрати такою, щоб рандомізувати експеримент, тобто додати випадкові властивості ходу експерименту. Це можна зробити за рахунок запланованої заздалегідь випадкової зміни послідовності зміни факторів і, можливо, величин їх збільшень. Така організація експерименту дозволить “не пропустити” особливостей властивостей об’єкту, що при однакових з’єднаннях факторів при повторах можуть не виявитися. У найпростіших випадках можна використовувати і регулярні плани.

Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОР зведено в таблицю 2.2 і на рис. 2.5.

Таблиця 2.2 Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОР

№ пп	U, %х.р.о.	θ_n , °C
1	20	62
2	30	66
3	40	70
4	50	74
5	60	78
6	70	82
7	80	86

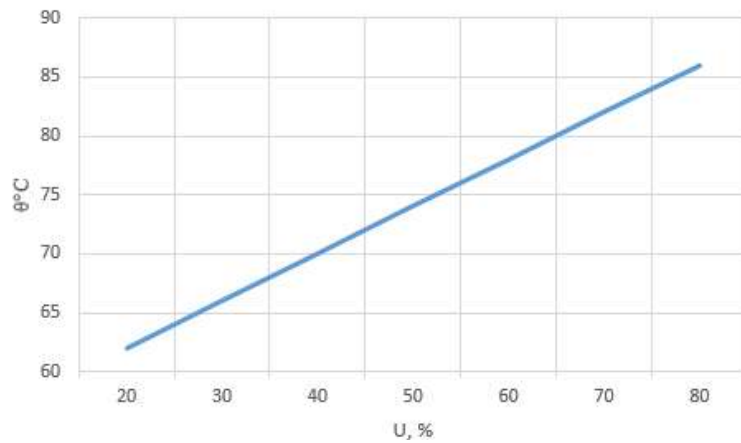


Рис. 2.5 Результати експерименту
для визначення статичної характеристики ОР

Проведемо аналіз отриманої в ході експерименту інформації, підберемо структури моделі з їх параметричною ідентифікацією, порівняємо їх за статистичними критеріями та приймемо рішення з вибору моделі для опису нелінійних властивостей каналів керування.

Структурна ідентифікація моделей статички зводиться до вибору виду рівняння регресії. Структурна ідентифікація є вихідним пунктом загального завдання ідентифікації моделей статички. Але, як показує практика, вибрати вид моделі відразу, як правило, не вдається. Причому недоліки вибраної моделі стають очевидними тільки після етапу її параметричної ідентифікації. Усунення недоліків моделі вимагає повернення до процедури структурної ідентифікації. Таких повернень може бути кілька, тобто процедура ідентифікації носить ітераційний характер.

Для проведення параметричної ідентифікації моделі статички ОР доцільно використовувати метод найменших квадратів. Суть методу полягає в пошуку такого вектору $\vec{a}$ параметрів вибраної моделі, що забезпечував би мінімальну суму квадратів розходження між значеннями вихідної змінної об'єкта, отриманих у результаті експерименту y_i , при значеннях вхідних змінних x_i , і вихідних змінних моделі об'єкту y_i^m , обчислених при тих же значеннях x_i , тобто

$$\vec{a}^* = \operatorname{argmin} \left\{ I(\vec{a}) = \sum_{i=1}^n \square \left(y_i(x_i) - y_i^m(a_i, x_i) \right)^2 \right\}.$$

Для досліджуваного ОР, як видно з рис. 2.5, статична характеристика може бути описана лінійною залежністю виду:

$$\theta_n = a_1 U + a_0$$

Параметр a_1 був визначений в процесі ідентифікації в підрозділах 2.2.4. При цьому $a_1 = K_0 = 0,4 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{х.р.о.}$

Параметр a_0 можна визначити із залежності:

$$a_0 = \theta_n - a_1 U = 78 - 0,4 \cdot 50 = 58 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Отже, статична характеристика досліджуваного ОР може бути описана залежністю:

$$\theta_n = 54 + 0,4 \cdot U.$$

2.3. Реалізація моделей на ПЕОМ і обґрунтування їх адекватності об'єкту

Створимо у середовищі імітаційного моделювання моделей статички каналів перетворення дій і підтвердження їх відповідності експериментальним даним. Реалізація моделі статички ОР проводилась в пакеті Simulink середовища Матлаб. Схема моделювання наведена на рис. 2.6, в якій модель статички була реалізована в елементі Fcn.

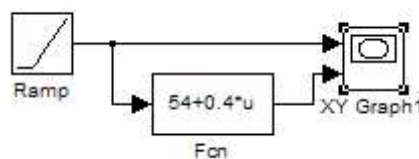


Рис. 2.6 Схема моделювання з перевірки відповідності статичної характеристики ОР експериментальним даним та налаштування елементу Fcn

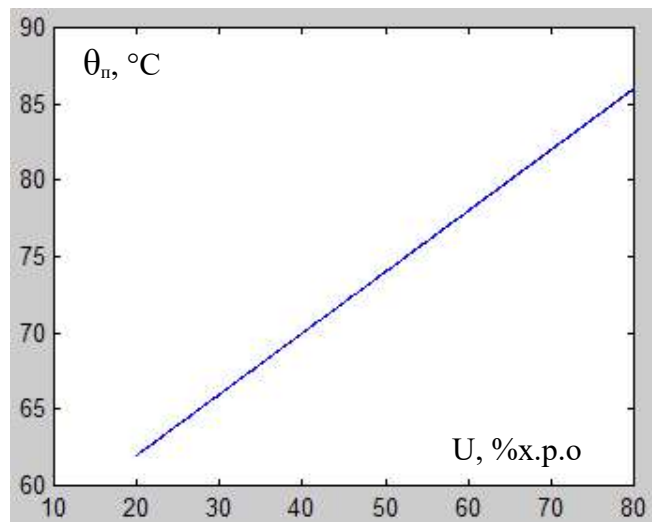


Рис. 2.7 Результати перевірки відповідності статичної характеристики ОР експериментальним даним

Співставляючи результати, наведені на рис. 2.5 та 2.6, можна зробити висновок, що модель статички ОР адекватна статичним властивостям ОР, отриманим експериментально.

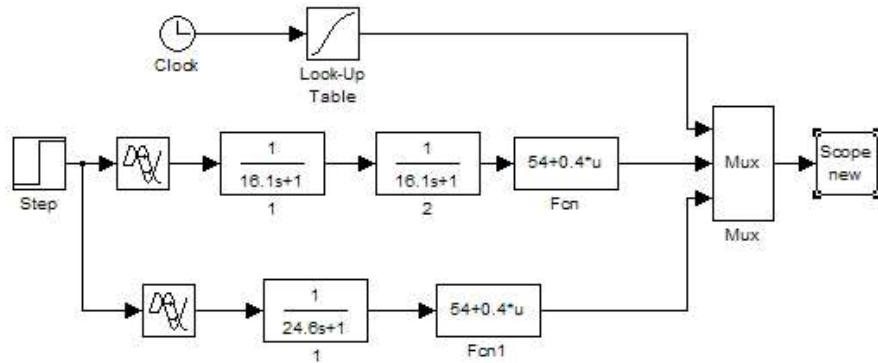
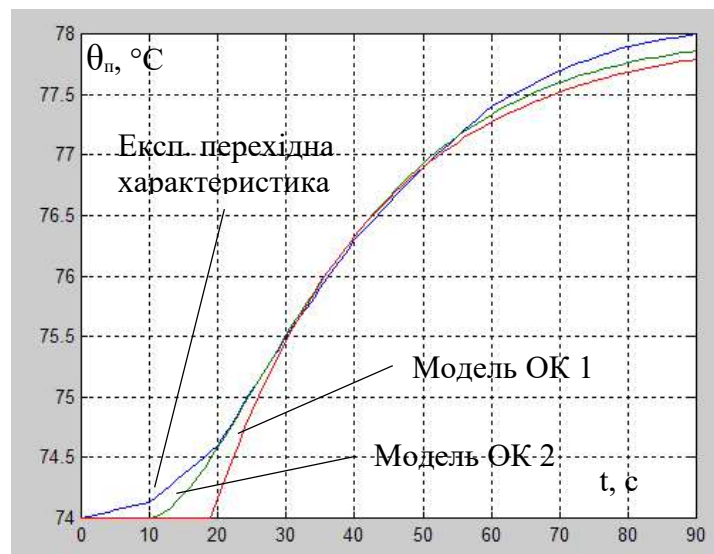
Проведемо відтворення у середовищі імітаційного моделювання моделей динаміки каналів перетворення дій і підтвердження їх відповідності експериментальним даним. У цьому підрозділі роботи в пакеті Simulink середовища Матлаб для каналу «U- θ_n » ОР розробляються схеми моделювання як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку. Відповідні передатні функції моделей наведені у табл. 2.3.

При моделюванні вихід моделей виводиться на графік в одній системі координат з експериментальними даними. Для цього експериментальні дані попередньо готують в табличному виді (див. табл. 2.3) і реалізують їх у компоненті Look-Up-Table.

Табл. 2.3 Дані обробки експериментальної перехідної характеристики ОК по каналу U – θ_n

t, c	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
θ_n °C	74,0	74,1	74,6	75,5	76,3	76,9	77,4	77,8	77,9	78,0

Схеми моделювання каналів управління ОР наведені на рис. 2.8. Результати моделювання наведені на рис. 2.9.

Рис. 2.8 – Схема моделювання каналу $U - \theta_n$ Рис. 2.9 – Результати моделювання ОР по каналу « $U - \theta_n$ »

Як видно з рис. 2.9, моделі ОР як 1-го, так і 2-го порядків коректно описують експериментальні дані. Перетини перехідних характеристик моделей динаміки ОР з експериментальною перехідною характеристикою відбуваються на очікуваних рівнях $\theta_{n,19}$, $\theta_{n,0,33}$, $\theta_{n,0,7}$, що свідчить про коректність використання методики 2-х загальних точок.

Оскільки модель 2-го порядку більш точно відображає динамічні властивості реального ОР, то в подальшому при моделюванні систем регулювання будемо використовувати лише її.

Висновки за розділом

Пастеризатор молока по каналу керування має властивість до самовирівнювання. В результаті активного експерименту отримані моделі

пастеризатора як об'єкту керування у вигляді передатних функцій 1-го та 2-го порядків. Оскільки модель 2-го порядку більш точно відображає динамічні властивості реального ОК, то в подальшому при моделюванні систем регулювання будемо використовувати лише її

3. РОЗРОБКА І ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ, ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ САР

3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом

3.1.1 Проведемо декомпозицію загальної задачі керування технологічним агрегатом і формулювання приватних задач. Загальною метою керування ТП і ТА є керування матеріальними і енергетичними потоками для отримання властивостей продукту необхідного виду і якості.

Із загальної мети керування можна виділити приватні задачі:

- підтримання вихідних змінних об'єкта регулювання (θ_n) на їх заданих значеннях (θ_n^z) - задача регулювання;
- пристосування в процесі роботи об'єкта керування до його змінних властивостей завдання - задача адаптації;
- забезпечення найкращих (оптимальних) в певному (заданому) сенсі режимів роботи об'єкта керування - задача оптимізації;
- забезпечення включення і відключення при пусках, зупинках, аварійних ситуаціях - задача логічного керування.

3.1.2 Обґрунтуємо необхідності і доцільності автоматизації кожної з приватних задач керування. Необхідно і доцільно автоматизувати кожну із задач керування.

Для задачі регулювання автоматизація необхідна для автоматичного підтримання регульованої змінної в околиці бажаного значення із заданою точністю без фізичної участі людини. Для якісної і економічно доцільної реалізації технологічного процесу пастеризації необхідно регулювати температуру пастеризації молока.

Для задачі адаптації необхідна автоматизація пристосування системи керування до змінних властивостей об'єкта керування. Це завдання можна вирішити, змінюючи настройки регуляторів в процесі роботи установки.

Для задачі оптимізації необхідно автоматизувати пошук оптимального проходження процесу, мінімізувати витрати енергії, брак продукції, збільшити продуктивність обладнання. Для процесу пастеризації молока цю задачу можна вирішити, змінюючи завдання системі регулювання температури.

Процес пастеризації молока є об'єктом неперервної дії. Для нього є характерним тривалий робочий режим, на який об'єкт виводять вручну в дистанційному режимі. Підвищення економічної ефективності роботи цього процесу в режимах пуску і зупинки можна досягти, автоматизувавши ці задачі. Тому для даного технологічного процесу автоматизація задачі логічного керування є актуальною.

3.1.3 Формалізуємо вимоги до гранично-допустимим статичним і динамічним відхиленням регульованих змінних від відповідних заданих значень перехідних процесів і подання їх у формі регламентних зон регульованих змінних. Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів (див. таблицю 1.2): температура молока на виході з секції пастеризації повинна підтримуватися на рівні $78\text{ }^{\circ}\text{C}$ з точністю $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. За цим параметром допустимі короточасні відхилення до $\pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 60 с. Регламентна зона за цим параметром наведена на рис. 4.1.

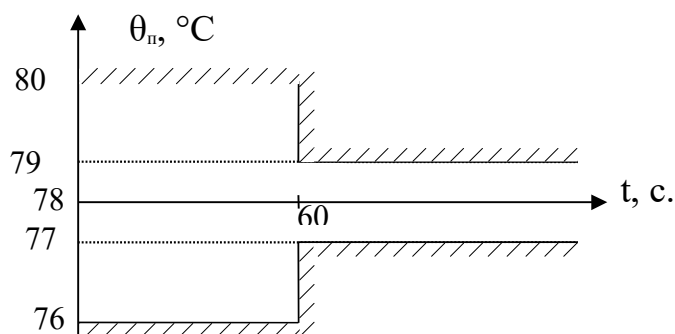


Рис. 3.1 – Регламентна зона для θ_p

3.1.4 Формалізуємо інтегральні вимоги до перехідних процесів регулювання у формі інтегрального критерію оптимальності САР. Відповідно

до завдання в якості інтегрального критерію застосуємо інтегральний модульний критерій, який дає компромісні налаштування регуляторів: з одного боку забезпечує динамічну точність, з іншого – стійкість САР. Тому ефективність роботи САР і підвищення її динамічної точності доцільно вести за таким критерієм:

$$J = \int_0^T \square (|\Delta \theta_n(t)|) dt$$

де T – час моделювання;

$\Delta \theta_n(t)$ – відхилення температури пастеризації молока від заданого значення;

3.1.5 Проведемо вибір, обґрунтування і представлення у вигляді узагальненої структурної схеми принципу побудови системи автоматичного регулювання. Основу керування становить інформація про цілі керування або про бажаний стан ОК y^{δ} , про поточний стан ОР y і про збурення f . Залежно від обсягу використовуваної керуючим пристроєм (КП) інформації про ОК виділяють чотири принципи побудови САР: принцип розімкнутого жорсткого (програмного) керування; принцип розімкнутого керування за збуренням; принцип замкнутого керування за станом ОК або керування зі зворотним зв'язком; комбінований принцип керування.

Для САР пастеризації молока, крім інформації про бажаний стан ОР, є інформація про поточний стан ОР. Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу достатній для реалізації замкнутого принципу керування. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР базової структури. Структурна схема цього принципу керування приведена на рис. 4.2.

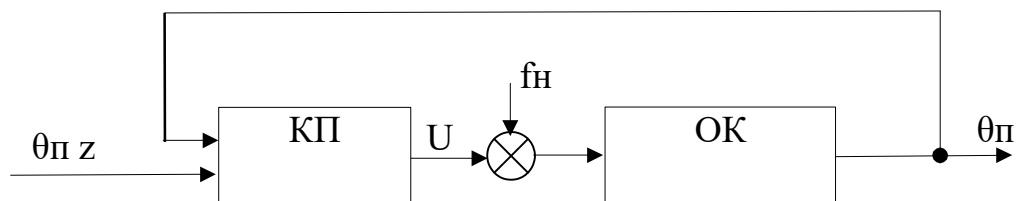


Рис. 3.2 – Структурна схема САР з замкнутим принципом керування.

3.2. Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

3.2.1 Розробимо на основі обраного загального принципу побудови САР її найпростішої конкретної структури. Структурна схема САР базової структури приведена на рис. 3.3. На рис. $W_p(p)$ – передатна функція регулятора температури; $W_{OP}(p)$ – передатна функція ОР; $\theta_{п}^z$ – задане значення температури пастеризації; $\Delta \theta_{п}$ – помилка регулювання температури; U – керуюча дія; f_n – неконтрольоване збурення.

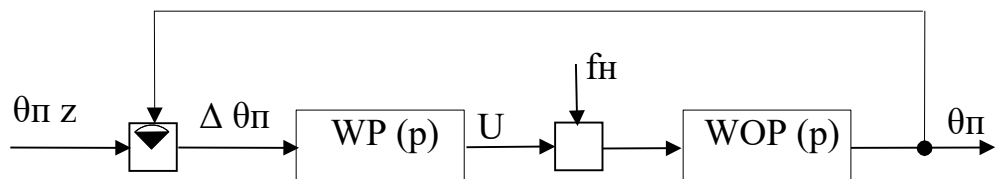


Рис. 3.3 – Структурна схема САР процесу пастеризації молока базової структури

В інженерній практиці при управлінні технологічними процесами в більшості випадків використовують типові алгоритми регулювання або регулятори. До них відносяться пропорційний (П), пропорційно-інтегральний (ПІ), пропорційно-диференціальний (ПД) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання.

Якщо ОР по каналах керування має статичні властивості, то П- і ПД-алгоритми регулювання в складі САР дають помилку статизму. При цьому найчастіше статична точність таких САР неприйнятна. І-складова усуває помилку статизму, але істотно знижує швидкодію регулювання. Якщо канали ОР є статичними, то рекомендується використовувати алгоритми регулювання з І-складовою, тобто ПІ і ПІД.

Якщо ОР має астатичні властивості, то в САР з П- і ПД-алгоритмами регулювання помилка статизму усувається астатичною складовою самого ОР. Тому такі регулятори доцільно використовувати в об'єктах, канали яких мають астатичні властивості.

Технологічний процес пастеризації молока по каналу керування $U - \theta_n$ має статичні властивості, тому в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання обираємо пропорційно-інтегральний (ПІ) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання.

Рівняння руху ПІ-регулятора

$$u(t) = K_p \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{из}} \int_0^t \Delta y(t) dt \right) + u_0;$$

Передатна функція ПІ-регулятора

$$W_p(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{из} p} \right)$$

Рівняння руху ПІД-регулятора

$$u(t) = K_p \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{из}} \int_0^t \Delta y(t) dt + T_{пр} \frac{d\Delta y(t)}{dt} \right) + u_0;$$

Передатна функція ПІД-регулятора (фізично реалізуєма)

$$W_p(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{из} p} + \frac{T_{пр} p}{0,2 \cdot T_{пр} p + 1} \right)$$

3.2.2 Проведемо вибір початкових наближень параметрів налаштування алгоритмів регулювання на основі інженерних методик параметричного (неоптимального) синтезу САР. На основі результатів ідентифікації моделей каналів ОР, наведених в табл. 2.1, за методикою Копеловіча А.П. розраховані параметри налаштування регуляторів. При цьому обрані параметри ОР для моделі 1-го порядку та перехідний процес в САР з 20% перерегулюванням.

Розрахунок параметрів ПІ-регулятора для каналу « $u - \theta_n$ »:

$$kr = 0,8 \cdot \frac{\square}{ko \cdot \tau_o} = \frac{0,8 \cdot 24,6}{0,4 \cdot 18} = 2,7 \frac{\% \text{ xpo}}{^{\circ}C}$$

$$T_{из} = 2,5 \cdot \tau_o = 2,5 \cdot 18 = 45 \text{ c}$$

Розрахунок параметрів ПІД-регулятора для каналу « $u - \theta_n$ »:

$$kr = 1,0 \cdot \frac{\square}{ko \cdot \tau_o} = \frac{1,0 \cdot 24,6}{0,4 \cdot 18} = 3,4 \frac{\% \text{ xpo}}{^{\circ}C}$$

$$T_{из} = 2,0 \cdot \tau_o = 2,0 \cdot 18 = 36 \text{ c}$$

$$T_{пр} = 0,5 \cdot \tau_o = 0,5 \cdot 18 = 9 \text{ c}$$

3.2.3 Розробимо структурну схему і програми цифрового імітаційного моделювання САР при детермінованих вхідних впливах. В 2-му розділі роботи

була проведена ідентифікація моделей каналів перетворення координатних дій технологічного процесу пастеризації молока та отримана модель ОР. Базуючись на цих результатах, створені схеми імітаційного моделювання САР в середовищі Simulink.

Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором приведена на рис.3.4, а з ПД-регулятором - на рис. 3.5.

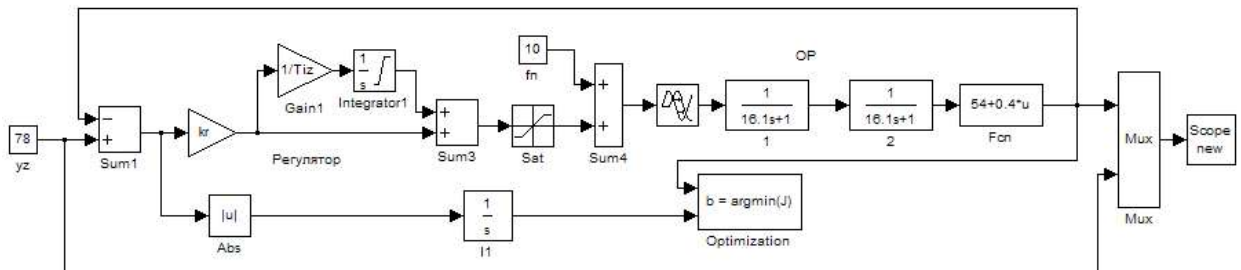


Рис. 3.4 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором.

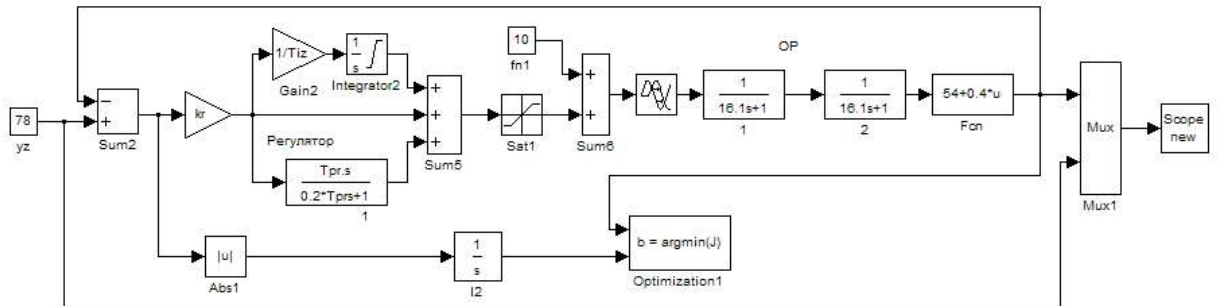
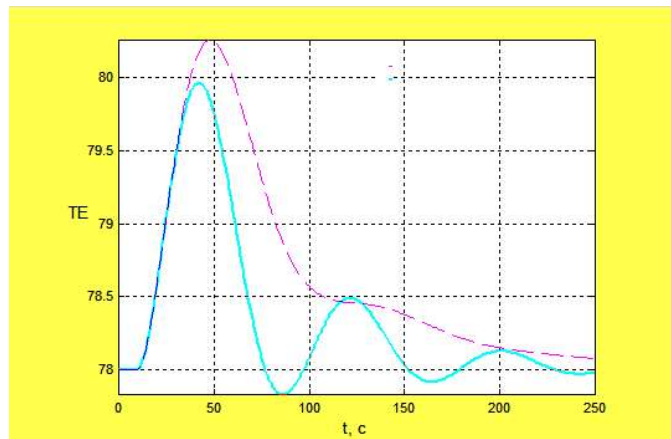


Рис. 3.5 – Структурна схема моделювання САР з ПД-регулятором.

3.2.4 Проведемо параметричний оптимальний синтез САР з альтернативними алгоритмами регулювання для детермінованих (східчастих) вхідних впливів. Для виконання цього скористаємося програмою «Блок оптимального параметричного синтезу САР та аналізу її грубості», до якого введемо початкові налаштування регулятора САР та параметри ОР.

Для оптимального параметричного синтезу САР процесу пастеризації молока з ПІ-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.4. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора наведені на рис. 3.6 і в табл. 3.1.

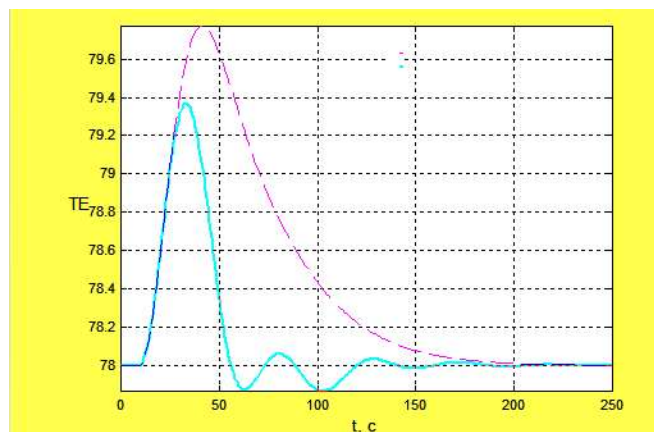


Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності: до опт. 161 після опт. 96
kr	4,67	1,3	2,7	10	
Tiz	41,35	22	45	90	

Рис. 3.6 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора при дії неконтрольованих збурень $f_n = 10\% \text{ x.p.o.}$,

Таблиця 3.1 – Результати порівняння САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації при дії неконтрольованих збурень $f_n = 10\% \text{ x.p.o.}$,

САР з ПІ-регулятором	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta \theta_n^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	Тпп, с при $\Delta \theta_n = 1 ^\circ\text{C}$	
до оптимізації	2,5	80	161
після оптимізації	1,9	60	96



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності: до опт. 106 після опт. 39
kr	7,1	1,7	3,4	10	
Tiz	21,8	22	36	90	
Tpr	9,2	4	9	20	

Рис. 3.7 – Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора

Для оптимального параметричного синтезу САР процесу пастеризації молока з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.5. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рис. 3.7 і в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результатів порівняння САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації при дії неконтрольованих збурень $f_n = 10\% \times p.o$

САР з ПІД-регулятором	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta \theta_n^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пл}}, \text{с при } \Delta \theta_n = 1 ^\circ\text{C}$	
до оптимізації	1,8	70	106
після оптимізації	1,4	40	39

3.2.5 Проведемо порівняльний аналіз перехідних процесів в параметрично оптимальних системах за значенням критерію оптимальності і показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення. Для проведення порівняльного аналізу САР з ПІ- і ПІД-регулятором будемо використовувати схеми моделювання, наведені на рис. 3.8, 3.9, 3.10. Налаштування ПІ- і ПІД-регуляторів встановлено на рівні оптимальних. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.11 і в таблиці 3.3.

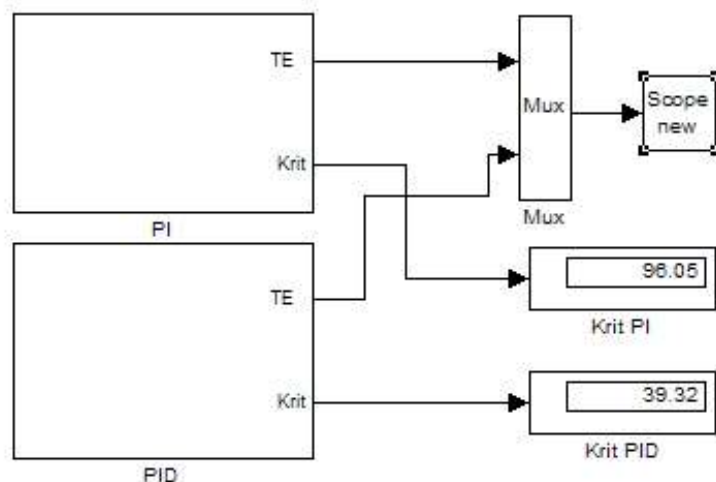


Рис. 3.8 - Схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР.

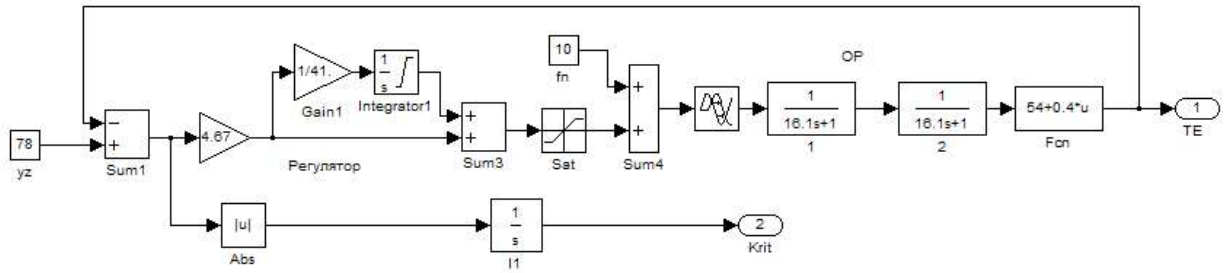


Рис. 3.9 Схема моделювання для САР з ПІ регулятором.

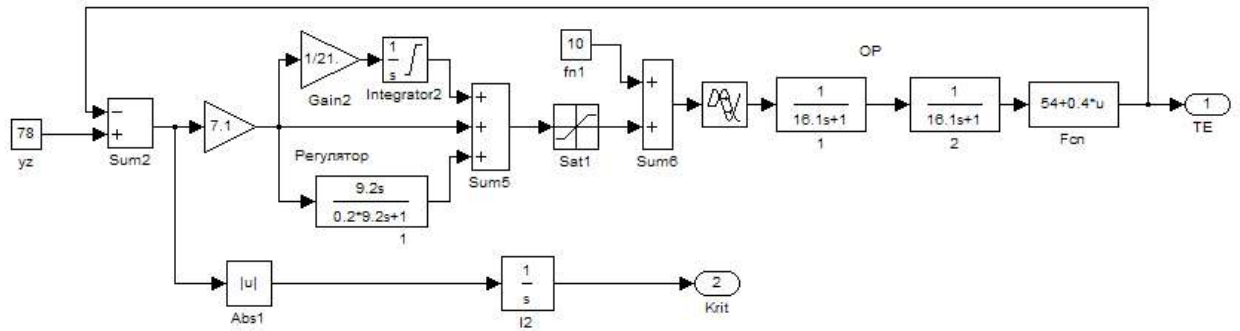


Рис. 3.10 Схема моделювання для САР з ПІД регулятором.

Для порівняння обрані схеми САР, що фактично і відбувається на практиці.

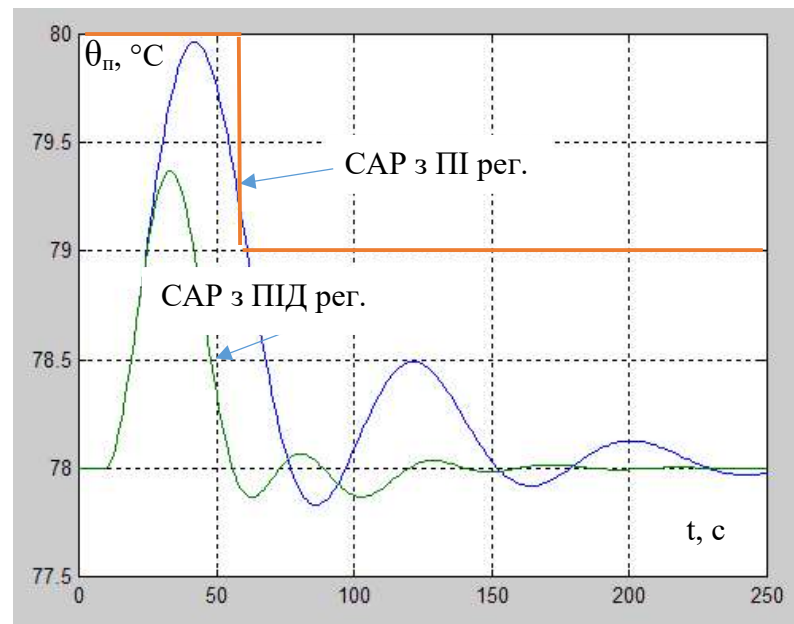


Рис. 3.11 – Результати порівняння варіантів САР при дії неконтрольованих $f_n = 10\% x.p.o$

Таблиця 3.3 - Результати порівняння варіантів САР при дії неконтрольованих збурень $f_n = 10\% \text{х.р.о}$

Алгоритм регулювання	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta \theta_n^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп}}, \text{с при } \Delta \theta_n = 1 ^\circ\text{C}$	
ПІ	2,0	61	96
ПІД	1,4	42	39

Із рис. 3.11 видно, що в умовах дії збурень неконтрольованих збурень $f_n = 10\% \text{х.р.о.}$ детермінованого характеру перехідні процеси в САР з ПІ-регулятором виходять за рамки регламентних зон.

САР з ПІД-регулятором по прямим і інтегральним показникам краща, ніж САР з ПІ-регулятором.

3.2.6 Проведемо аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОК. Спочатку оберемо параметри ОК, по яким доцільно оцінити грубість САР до варіацій їх значень і планування машинного експерименту з оцінки грубості.

В процесі роботи за рахунок зміни параметрів ОК може змінюватися час запізнювання в каналі керування ОР до $\pm 20\%$. Також внаслідок нелінійності статичної характеристики ОК коефіцієнт передачі по каналу керування може варіювати в межах до $\pm 20\%$. При цьому дослідження САР на грубість будемо проводити в умовах дії неконтрольованих $f_n = 10\% \text{х.р.о.}$

Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПІ- і ПІД-регуляторами на грубість аналогічні схемам моделювання для оптимального параметричного синтезу рис. 3.4, 3.5.

3.2.6.1 Проведемо порівняльний аналіз перехідних процесів за критерієм оптимальності та показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення. Для виконання цього пункту скористаємося «Блоком оптимального параметричного синтезу САР та аналізу її грубості», до якого введемо параметри ОР, які змінюються в діапазонах $k_o \pm 20\%$, $\tau_o \pm 20\%$.

Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість наведені на рис. 3.12, а САР з ПІД-регулятором - на рис. 3.13. Як видно з результатів, САР з ПІ

і ПД-регулятори є грубими, оскільки в умовах варіації параметрів ОР до $\pm 20\%$ перехідні процеси в неї сходяться до заданих значень.

Але також в умовах дії збурень детермінованого характеру перехідні процеси в САР виходять за рамки регламентних зон.

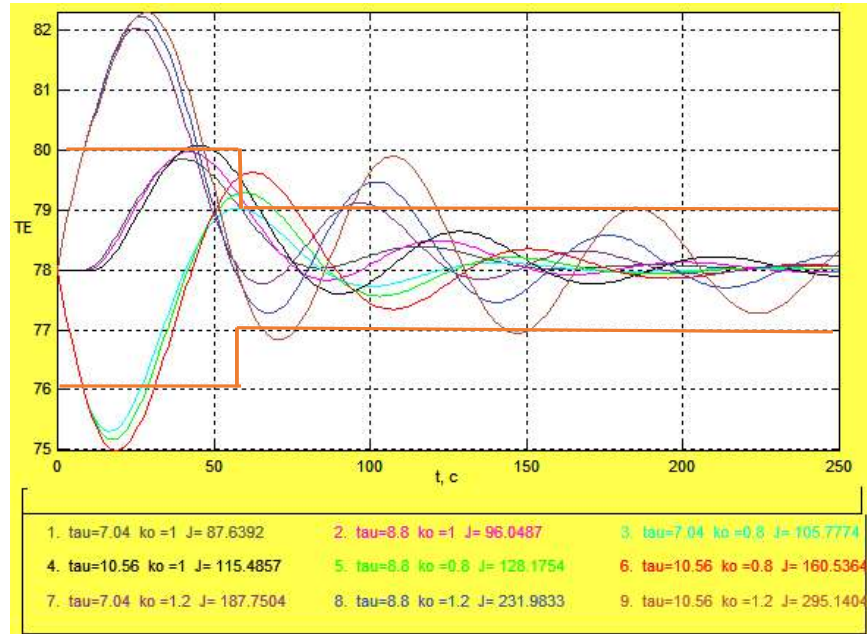


Рис. 3.12 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регулятором в умовах дії неконтрольованих $f_n=10\%x.p.o$ і контрольованих збурень $\Delta F_e=0,6$ т/год.

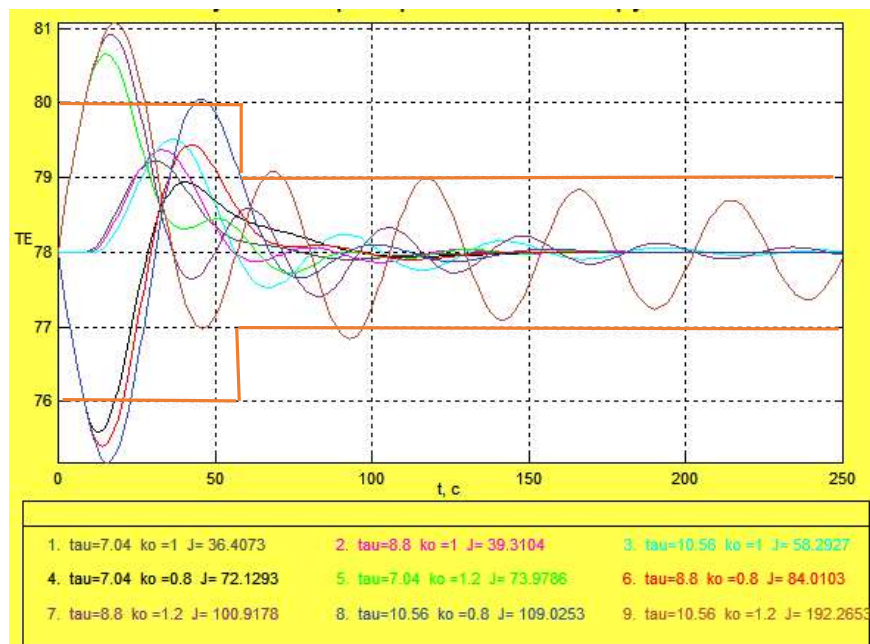


Рис. 3.13 - Аналіз на грубість САР з ПД-регулятором в умовах дії неконтрольованих збурень $f_n=10\%x.p.o$

Для обох САР збільшення запізнення та коефіцієнту передачі ОК погіршує їх стійкість (збільшується коливальність перехідного процесу) і показник критерію J .

В даному підрозділі курсової роботи була побудована САР базової структури за принципом замкнутого керування. В процесі розробки САР в якості альтернативних регуляторів використовувались ПІ і ПІД-регуляторами.

При порівнянні прямих та інтегральних показників якості можемо зробити висновок, що САР з ПІД-регулятором має їх кращі значення.

При перевірці САР на грубість було помічено, САР з ПІ- та ПІД-регулятором грубі до варіації параметрів ОК. При збільшенні запізнення та коефіцієнту передачі в ОР показники якості функціонування САР погіршуються.

3.3. Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз

3.3.1 Проведмо структурний синтез САР підвищеної динамічної точності. Для цього розглянемо особливості об'єкта регулювання, що знижують динамічну точність і вибір способів її підвищення за рахунок введення в структуру САР додаткових зв'язків, що забезпечують, наприклад, її інваріантність, автономність, компенсацію запізнювання і т. д.

Причиною недостатньої точності САР можуть бути зовнішні умови: дія інтенсивних контрольованих і неконтрольованих збурень, інтенсивна зміна завдання САР, а також внутрішні особливості ОК і САР (значне співвідношення τ_o / T_o , взаємний вплив каналів в багатомірній САР).

З курсу ТАУ відомо, що динаміка власного руху САР залежить від запізнення в контурі регулювання ОР. Для компенсації впливу запізнення на динаміку власного руху системи доцільно застосувати коригуючий зв'язок - упереджувач Сміта.

3.3.2 Розробимо на основі обраних способів підвищення динамічної точності САР її структурну схему і сформулюємо (в аналітичній формі) умови, що забезпечують необхідні властивості САР.

Структурна схема САР з компенсацією впливу запізнення на динаміку власного руху системи наведена на рис. 3.14.

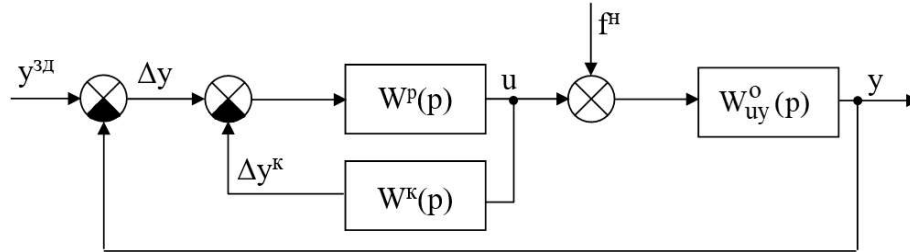


Рис. 3.14 – Структурна схема САР з компенсацією впливу запізнення на динаміку власного руху системи

3.3.3 Здійснимо вивід передаточних функцій коригуючих зв'язків, аналіз їх структури з умов фізичної можливості бути реалізованим, приведення до фізично реалізується увазі, подання до форми з'єднання типових динамічних ланок та отримання перехідних характеристик. З курсу ТАУ відомо, що запізнювання не буде впливати на власний рух САР у тому випадку, якщо його передатна функція не входить у власний оператор системи – $Q^{co}(p)$.

Запишемо передатні функції «звичайної» і розглянутої (з коригувальним зв'язком) САР:

$$W_{f_{ny}}^{co}(p) = \frac{W_{uy}^o(p)}{1 + W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p)}; \quad W_{f_{ny}}^{ck}(p) = \frac{W_{uy}^o(p)}{1 + \frac{W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p)}{1 + W^p(p) \cdot W^k(p)}} =$$

$$= \frac{\frac{W_{uy}^o(p)}{1 + W^p(p) \cdot W^k(p) + W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p)}}{1 + W^p(p) \cdot W^k(p)} = \frac{W_{uy}^o(p) \cdot (1 + W^p(p) \cdot W^k(p))}{1 + W^p(p) \cdot W^k(p) + W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p)}.$$

Випишемо їхні власні оператори, представивши $W_{uy}^o(p)$ у вигляді добутку двох передатних функцій: передатної функція об'єкта, з якої й виключене запізнювання – $W_{uy}^{o'}(p)$ і передатної функції запізнювання $e^{-\tau_{uy}p}$, тобто $W_{uy}^{o'}(p) \cdot e^{-\tau_{uy}p} = W_{uy}^o(p)$.

$$\text{Отже, } Q^{co}(p) = 1 + W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p) = 1 + W^p(p) \cdot W_{uy}^{o'}(p) \cdot e^{-\tau_{uy}p};$$

$$Q^{ck}(p) = 1 + W^p(p)W^k(p) + W^p(p)W_{uy}^{o'}(p)e^{-\tau_{uy}p}.$$

Для забезпечення незалежності власного руху САР від запізнювання об'єкта, необхідно, щоб це запізнювання не входило у власний оператор системи. Для цього потрібно, щоб власний оператор системи з коригувальним зв'язком мав би точно такий же вид, як і власний оператор ідеалізованої системи без коригувального зв'язку й без запізнювання.

$$\text{Тобто } Q^{ck}(p)|_{\tau_{uy}>0} = Q^{co}(p)|_{\tau_{uy}=0} :$$

$$1 + W^p(p) \cdot W^k(p) + W^p(p) \cdot W_{uy}^{o'}(p) \cdot e^{-\tau_{uy}p} = 1 + W^p(p) \cdot W_{uy}^{o'}(p);$$

звідки передатна функція коригувального зв'язку

$$W^k(p) = (1 - e^{-\tau_{uy}p})W_{uy}^{o'}(p).$$

Дану функцію можна фізично реалізувати і вона не потребує спрощення для своєї подальшої реалізації в керуючому пристрої.

3.3.4. Розробимо структурну схему і програми цифрового імітаційного моделювання та параметричний оптимальний синтез САР підвищеної динамічної точності для детермінованих (східчастих) вхідних впливів. Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності (САР ПДТ) для оптимального параметричного синтезу приведена на рис. 3.15, а результати оптимізації - на рис. 3.16.

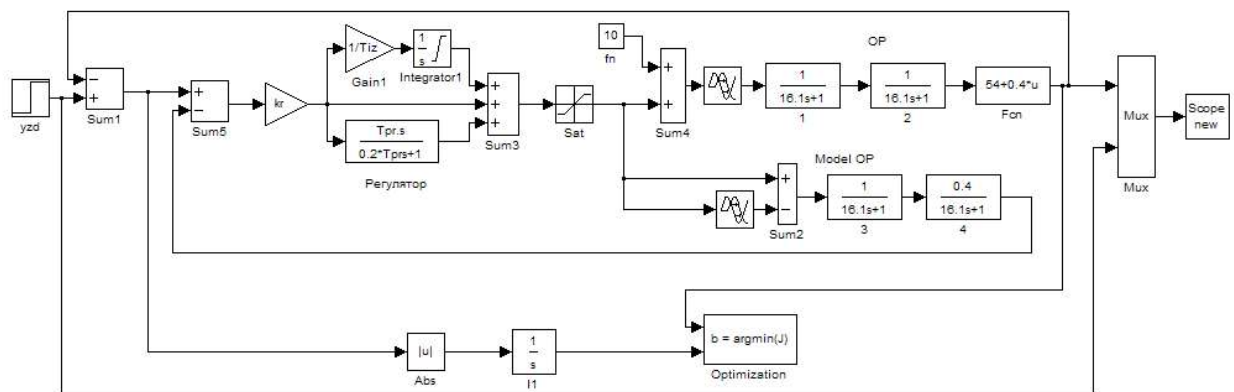
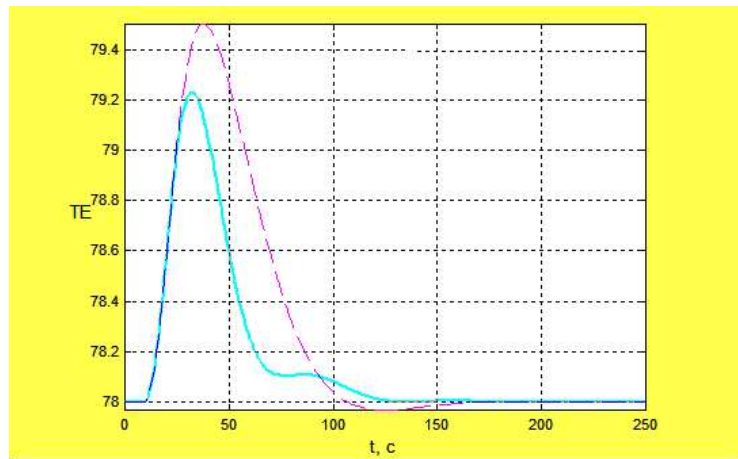


Рис. 3.15. – Схема моделювання САР ПДТ
для оптимального параметричного синтезу



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності: до опт. 68 після опт. 41
kr	15	3	7,1	15	
Tiz	10	10	21,8	40	
Trp	6,8	4	9,2	18	

Рис. 3.16. - Результати оптимізації параметрів САР ПДТ

3.3.5 Проаналізуємо грубість САР підвищеної динамічної точності до варіацій параметрів об'єкта регулювання. Спочатку оберемо параметри ОК, по яким доцільно оцінити грубість САР значень їх варіацій і планування машинного експерименту з оцінки грубості.

Як і у випадку з САР базової структури, САР підвищеної динамічної точності досліджуємо на грубість в умовах варіації параметрів ОК, а саме, часу запізнювання та коефіцієнту передачі в каналах ОК $\pm 20\%$.

3.3.5.2 Порівняємо перехідні процеси за критерієм оптимальності та показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення. Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК наведені на рис. 3.17. Як видно з результатів оцінки САР на грубість, в умовах варіації параметрів ОК САР дає східні перехідні процеси, а значить, САР є грубою.

Але також в умовах дії збурень детермінованого характеру перехідні процеси в САР ПДТ виходять за рамки регламентних зон. Слід відзначити, що в САР ПДТ коливальність перехідного процесу менша, ніж у САР з ПІД регулятором.

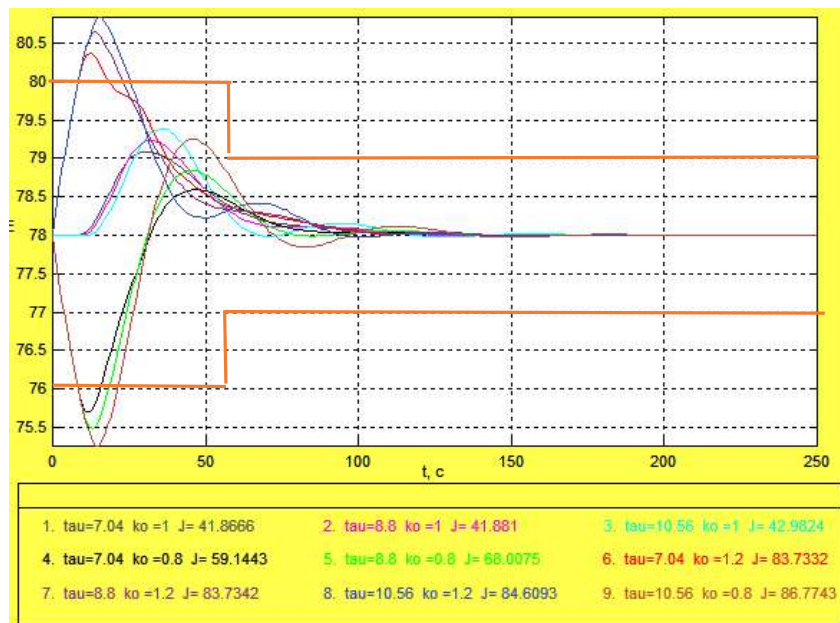


Рис. 3.17 - Аналіз на грубість САР ПДТ
в умовах дії неконтрольованих збурень $f_n = 10\% x.p.o$

3.3.6 Порівняємо САР базової структури і підвищеної динамічної точності по величинам критеріїв і показників, на які встановлено гранично-допустимі значення.

Для порівняння якості роботи САР базової структури і підвищеної динамічної точності розроблено структурну схему моделювання, наведена на рис. 3.18. Результати порівняння наведені на рис. 3.19 і в таблиці 3.4.

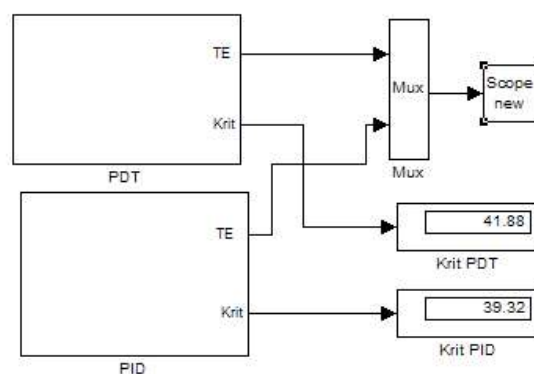


Рис. 3.18 - Структурна схема моделювання для порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

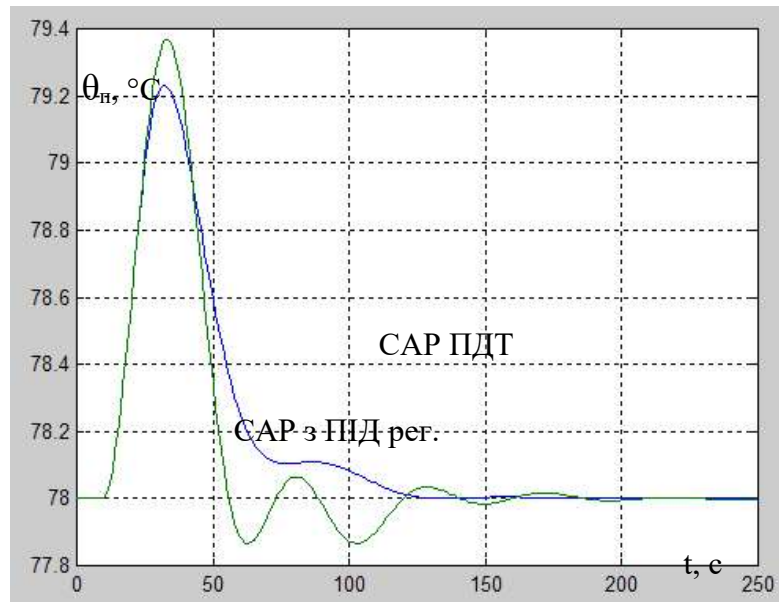


Рис. 3.19 – Результати порівняння САР базової структури і САР ПДТ при дії неконтрольованих $f_n = 10\% x.p.o$

Таблиця 3.4 - Результати порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

Структура САР	Показники		
	$\Delta \theta_n^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{пп}, \text{с при } \Delta \theta_n = 1 ^\circ\text{C}$	Критерій
Базова	1,4	42	39
Підвищеної динамічної точності	1,2	42	41

Як видно з результатів порівняльного моделювання, САР ПДТ має менше динамічне відхилення і меншу коливальність перехідного процесу, ніж САР базової структури.

3.3.6.2 Порівняємо грубость параметрично оптимальних САР. Як показують результати досліджень варіантів САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності є грубими до змін запізнення і коефіцієнта передачі в каналі керування ОР в діапазоні $\pm 20\%$.

Висновки по підрозділу: за рахунок компенсації впливу запізнення на динаміку власного руху системи САР ПДТ несуттєво покращує динамічну точність у порівнянні з САР базової структури, але вона є грубішою, тому САР підвищеної динамічної точності використовувати доцільно.

3.4 Висновки за розділом

За результатами аналізу прямих і інтегральних показників якості роботи САР базової структури з ПД-регулятором і САР підвищеної динамічної точності можна дійти висновку про її незаперечні переваги. Тому САР ПДТ можна рекомендувати для подальшого використання на практиці.

4. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ АГРЕГАТОМ

4.1. Аналіз існуючого рівня реалізації функцій логічного (логіко-програмного) керування технологічним агрегатом та модернізація комплексу технічних засобів для автоматизації цих функцій

Пастеризаційно-охолоджувальний агрегат входить складовою частиною в ділянку виробництва молочних виробів. В самій пастеризаційній установці здійснюється забір молока в накопичувач, рекупераційний попередній нагрів, безпосередньо сам процес пастеризації з витримкою при температурі 78 градусів, охолодження крижаною водою та розлив. Пастеризація та витримка відбуваються у теплообміннику, температура якого забезпечується пропусканням перегрітої води в нагрівальному контурі.

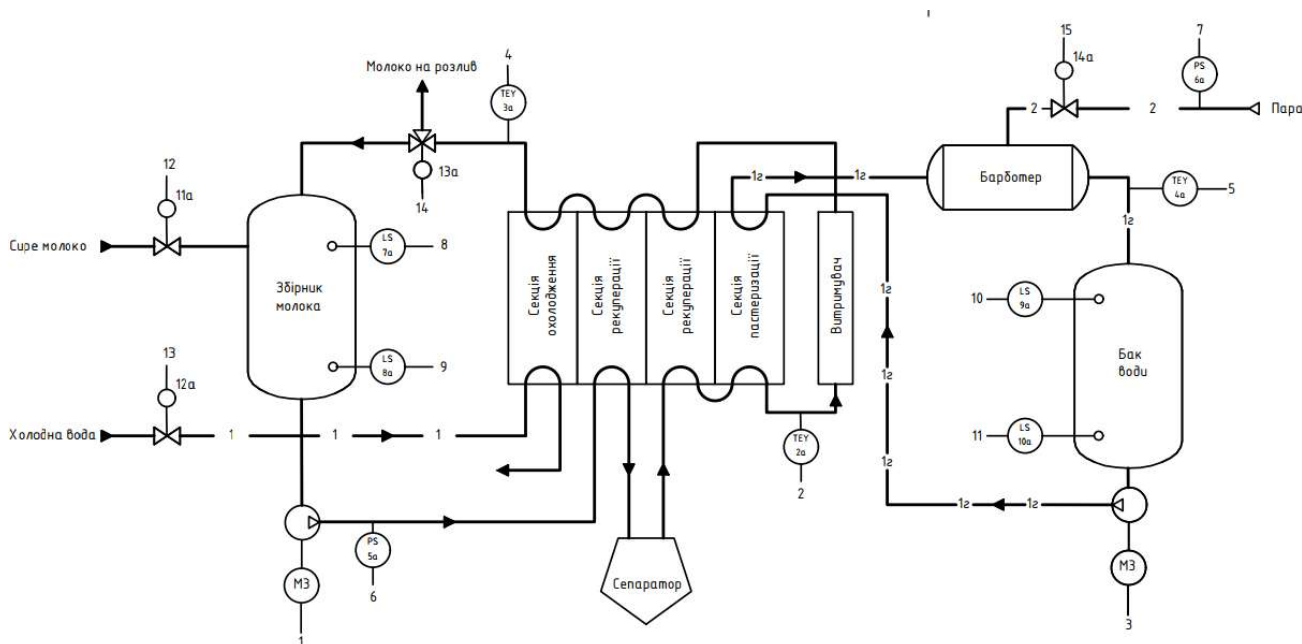


Рис. 4.1 Схема руху молока та води в пастеризаторі

Пуск ділянки в роботу та її нормальна зупинка зазвичай здійснюються вручну. Тому для підвищення ефективності роботи системи автоматизації слід розробити алгоритми автоматичного пуску та зупинки ділянки.

У процесі роботи установки можливе виникнення нештатних ситуацій. До нештатних ситуацій відносяться: зникнення продукту на вході, зникнення

пари в паропроводі та ін. Система автоматичного логічного керування повинна забезпечувати відпрацювання цих ситуацій.

4.2 Розробка алгоритмів автоматичного логічного керування пуском ділянки в роботу

Пуск установки в роботу та її зупинка здійснюється на воді. Тому попередньо можна вважати, що система продуктопроводів частково або цілком заповнена водою.

При пуску і розігріванні установки клапан 11а повинен бути закритим, 12а відкритим а клапан 13а – у положенні «рециркуляція». Після виведення установки на режим із системи зливають воду. Для цього клапан 12а закривають, а клапан 13а – у положення «розлив». При цьому припиняють подачу води в приймальний бак. Після спорожнювання приймального бака від води в нього подають молоко. Для цього 11а відкривають. Після того, як молоко витіснить воду із системи продуктопроводів, продукт направляється в подальшу переробку. Блок-схема регламенту функціонування ділянки при пускові приведена на рис. 4.2.

Перевірка умов, необхідних для пуску зводиться до перевірки наявності пари в паропроводі ($P_p > P_p^{мин}$), води в бачку води ($L_v > L_v^{мин}$), наявності крижаної води ($P_{кв} > P_{кв}^{мин}$), розсолу ($P_r > P_r^{мин}$), води ($P_v > P_v^{мин}$) та молока на вході ($P_m > P_m^{мин}$). Передпускова звукова сигналізація зводиться до включення звукового сигналізатора на 30 секунд. Для забезпечення сепарування вмикають сепаратор і витримують час на його розгін. Для заповнення установки водою клапан 11а відкривають, а 13а переключають в положення „рециркуляція”. Потім забезпечують підтримання рівню в приймальному баці L_1 . При наявності мінімально припустимого рівню ($L_1 > L_1^{мин}$) вмикають насос. Після досягнення мінімально припустимого тиску в продуктопроводі на виході із установки $P_{вих} > P_{вих}^{мин}$ вважають, що система продуктопроводів заповнена водою.

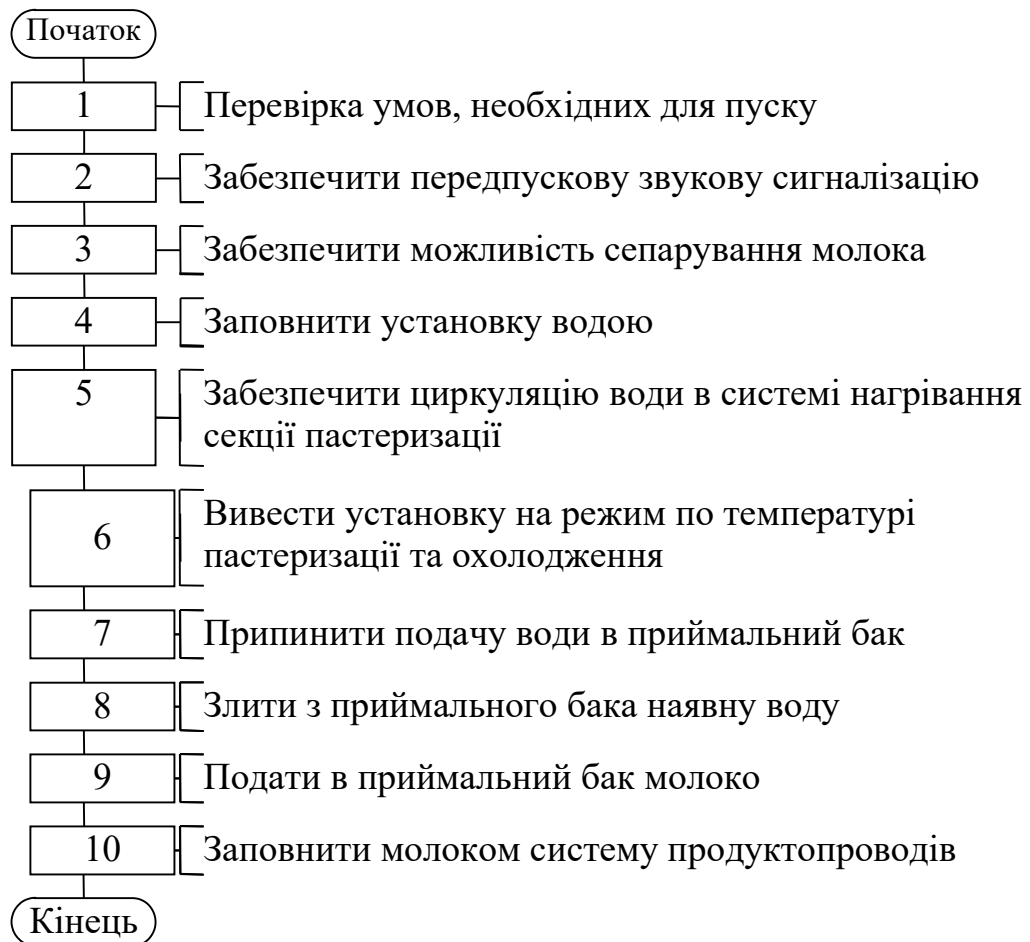


Рис. 4.2 – Блок-схема регламенту функціонування ділянки пастеризації молока при пускові

Для забезпечення циркуляції води в системі обігрівання установки вмикають насос і перевіряють наявність тиску води в системі ($P_{\text{во}} > P_{\text{во}}^{\text{мін}}$). Для виведення на режим секції пастеризації спочатку вмикають контур регулювання температури води в системі обігрівання, а при досягненні температурою пастеризації мінімально припустимого значення перемикаються на контур регулювання температури пастеризації молока. Для виведення на режим секції охолодження вмикають відповідний контур регулювання. При досягненні температурою пастеризації мінімально припустимого значення припиняють подачу води на ділянку. Для цього вимикають контур регулювання в баці, закривають 12а. Таким чином воду, наявну в приймальному баці, зливають в дренаж до зниження рівню нижче мінімального значення ($L_1 < L_1^{\text{мін}}$). Після цього установку переводять на молоко. Для цього 11а відкривають і знову вмикають контур регулювання

рівню в приймальному баці. Далі очікують, доки на виході вся вода буде витіснена молоком, після чого перемикають 13а на розлив. Блок-схема алгоритму управління пуском ділянки в роботу наведена на рис. 4.3.

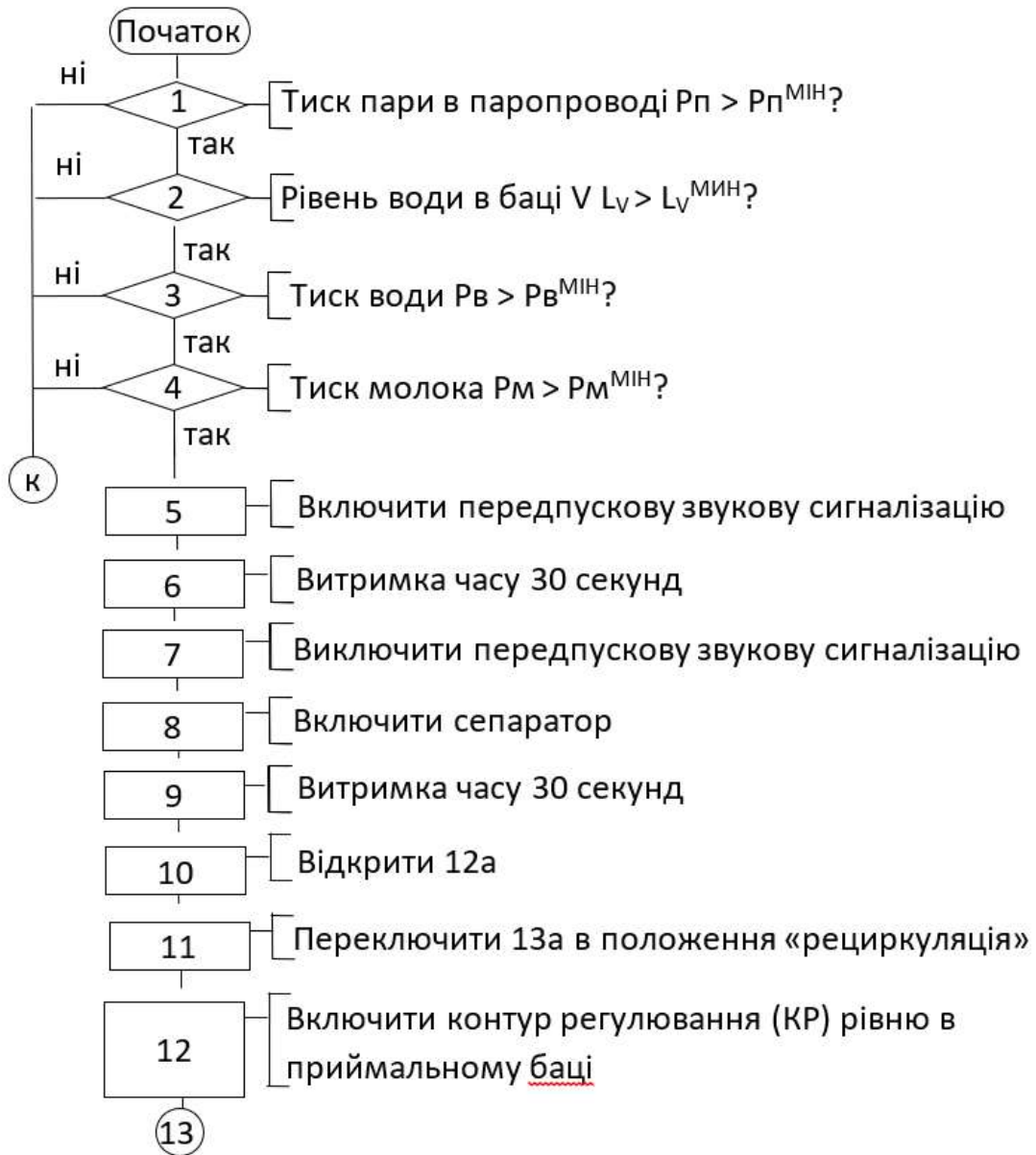


Рис. 4.3 - Блок-схема алгоритму управління пуском ділянки пастеризації молока в роботу

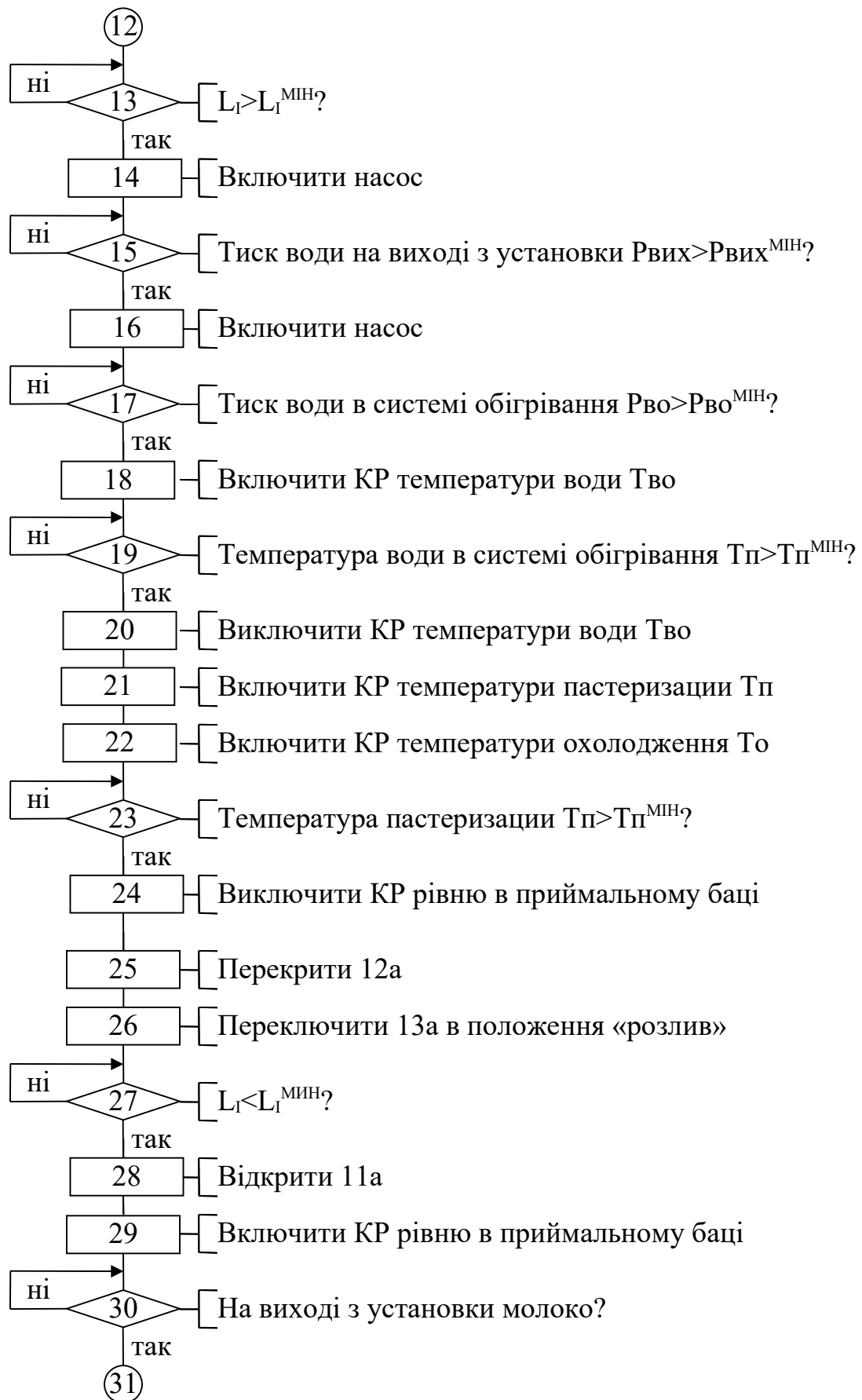


Рис. 4.3 (продовження) – Блок-схема алгоритму управління пуском ділянки пастеризації молока в роботу

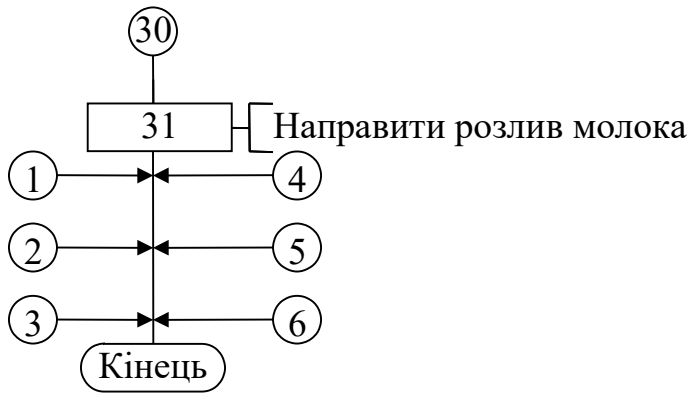


Рис. 4.3 (закінчення) – Блок-схема алгоритму управління пуском ділянки пастеризації молока в роботу

4.3 Розробка алгоритмів автоматичного логічного керування нормальною зупинкою ділянки пастеризації молока

Нормальну зупинку установки починають з того, що припиняють подачу молока в приймальний бак. Після вироблення наявного в приймальному баці молока в нього подають воду, яка витісняє молоко із системи продуктопроводів. Переключення установки з молока на воду здійснюється переключенням клапанів 11а та 12а. Блок-схему регламенту нормальної зупинки наведено на рис 4.4.

Щоб припинити подачу молока на ділянку, достатньо виключити контур регулювання рівня в приймальному баці. Щоб проконтролювати вироблення молока з приймального баку, слід проконтролювати зниження рівню молока в приймальному баці нижче мінімального ($L_1 < L_1^{MIN}$). Щоб подати в приймальний бак воду, треба закрити 11а, відкрити 12а та ввімкнути контур регулювання рівню води у приймальному баці. Витіснення з установки молока контролюють наявність води (а не молока) на виході. Далі вода направляється в дренаж переключенням 13а. Для забезпечення промивання установки водою треба переключити 13а в положення „рециркуляція”. Щоб припинити подачу води в установку досить виключити контур регулювання рівню в приймальному баці.

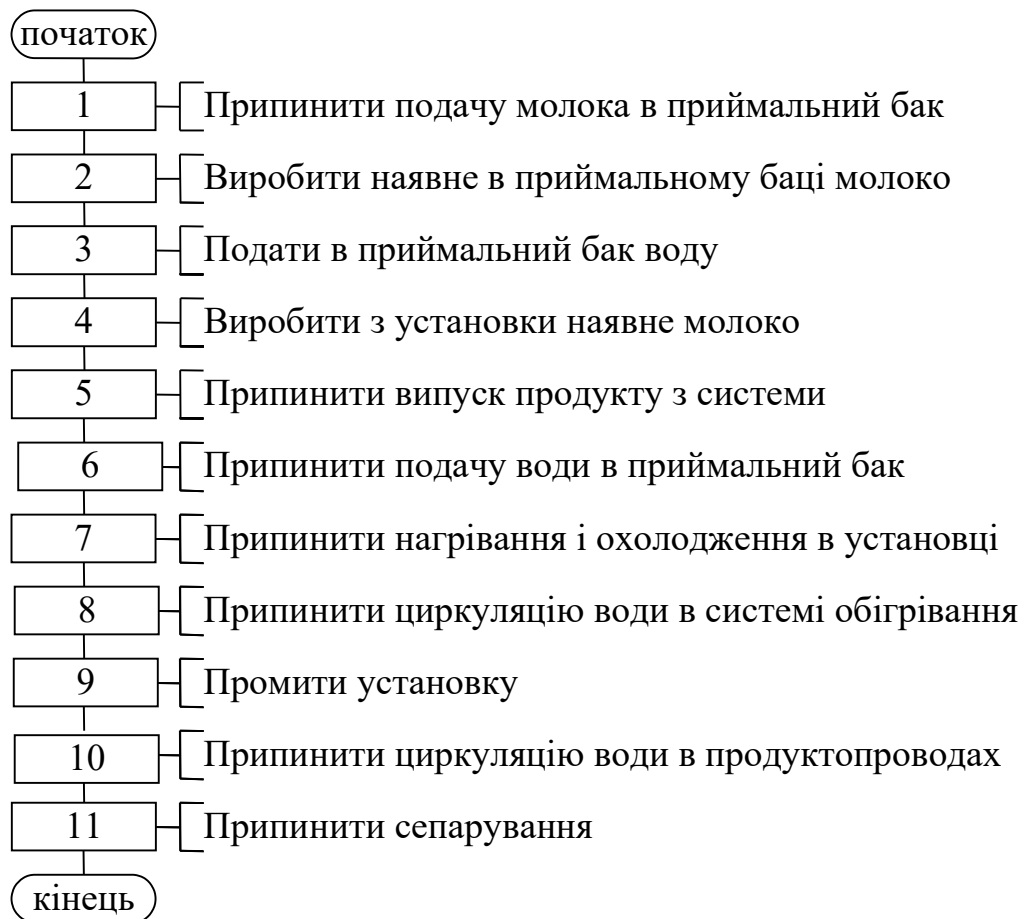


Рис. 4.4 – Блок-схема регламенту функціонування ділянки пастеризації молока при нормальній зупинці

Для припинення нагрівання установки треба виключити контур регулювання температури пастеризації та закрити клапан подачі пари.

Для припинення розсільного охолодження установки треба виключити контур регулювання температури охолодження та закрити клапан подачі розсолу. Щоб система обігрівання установки остигла, доцільно зробити витримку часу. Для припинення циркуляції води у системі обігріву, треба вимкнути насос. Для остигання секції пастеризації слід зробити ще одну витримку часу. Для припинення циркуляції води в продуктопроводах треба виключити насос. Для припинення сепарування треба вимкнути сепаратор. Блок-схема алгоритму управління установкою при нормальній зупинці наведена на рис. 4.5

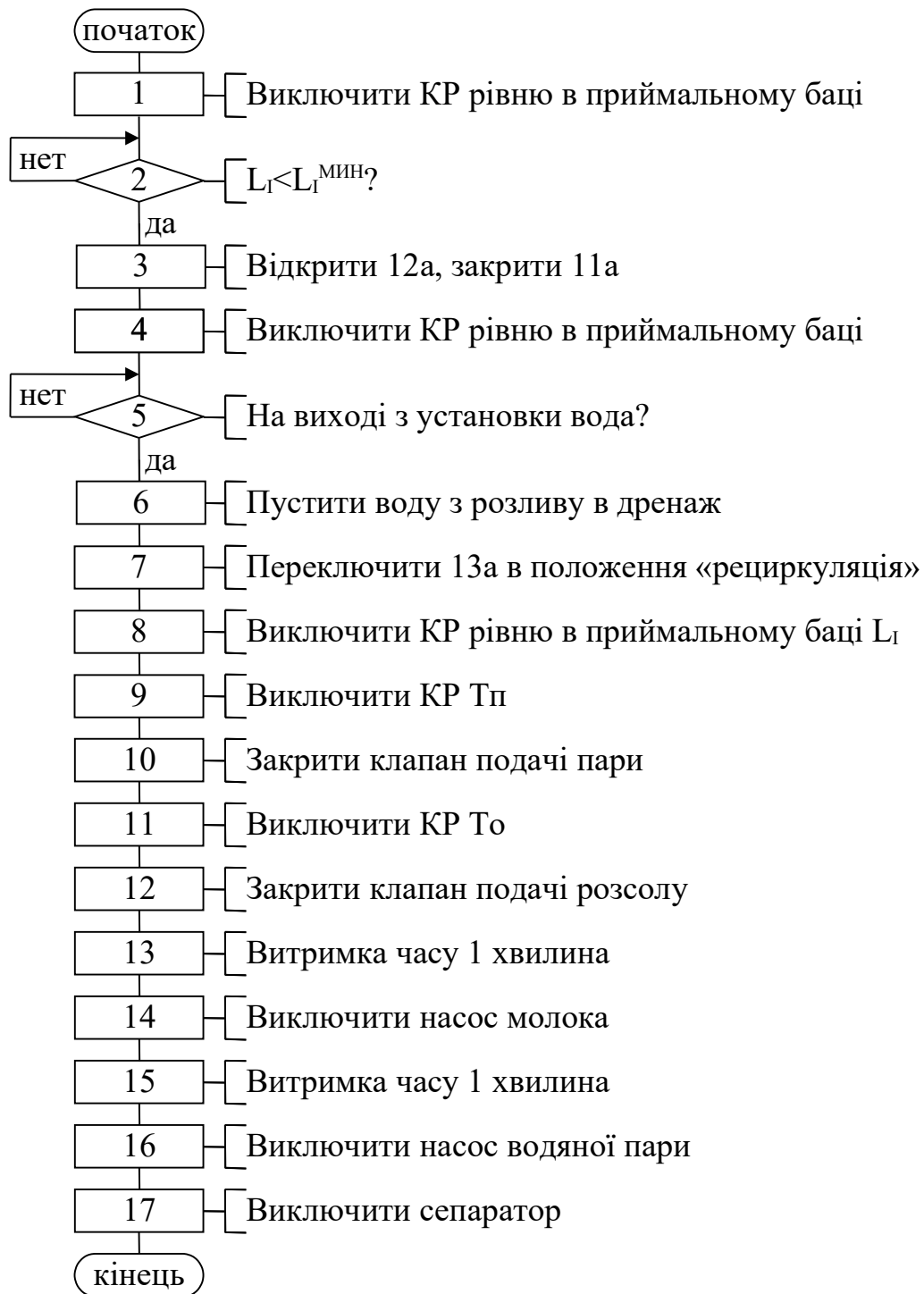


Рис. 4.5 – Блок-схема алгоритму управління установкою при нормальній зупинці

4.4 Розробка алгоритмів логічного управління для підсистем зупинки в нештатних ситуаціях

До нештатних ситуацій відносяться: зникнення продукту на вході, зникнення пари в паропроводі та ін.

Для ситуації „зникнення продукту на вході” слід контролювати тиск продукту на вході. Якщо $P_m < P_m^{\text{мін}}$, то треба дати системі можливість відновитися без блокувань. Аварійна зупинка розпочнеться, якщо також і $L_1 < L_1^{\text{мін}}$. При цьому відпрацьовуватиме алгоритм нормальної зупинки.

В ситуації „зникнення пари в паропроводі” відбудеться падіння температури пастеризації. При цьому 13а треба перевести в положення „рециркуляція”.

4.5 Висновки за розділом

В ході виконання цього розділу роботи було розроблено алгоритми логічного керування пуском, нормальною та аварійною зупинкою ділянки пастеризації молока. Розроблені алгоритми є доступними до реалізації на мікропроцесорних засобах автоматизації.

РОЗДІЛ 5. ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЗМІННІ ПРОЦЕСУ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ, РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ СТРУКТУРИ КОНТРОЛЕРНО-КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ

5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення

5.1.1 До переліку середовищ, параметри яких підлягають контролю, вимірюванню, регулюванню відноситься:

- молоко, з яким стикаються чутливий елемент датчика температури, відсічний клапан, трьох ходовий клапан та чутливі елементи датчиків-реле рівня. Температура молока, яке після нагріву надходить на розлив, повинна бути не менша, ніж 74 °С. Матеріал корпусу клапанів та захисних чохлаів датчиків повинен бути із нержавіючої сталі;

- гаряча вода, з якою стикається чутливий елемент датчика температури, чутливі елементи датчиків-реле рівня та тиску. Температура води в контурі нагріву складає 85...90 °С.

- пара, з якою стикаються чутливий елемент датчика-реле тиску та відсічний клапан. Тиск пари в паропроводі складає 2 бари;

- охолоджувальна (крижана) вода, якою стикаються чутливий елемент датчика-реле тиску та відсічний клапан. Температура води 4...6 °С.

5.1.2 Процес пастеризації здійснюється в ПОУ, яка встановлена у приміщенні цеху, температура повітря в якому змінюється в діапазоні 18...25 °С. Цей процес не є пожежовибухонебезпечним, оскільки в приміщенні не можуть виникнути фактори, які здатні викликати пожежу або вибух.

Але високі температури поверхонь теплообмінників нагрівають повітря в цеху, яке діє на обслуговуючий персонал.

«Правила улаштування електроустановок» визначають:

жарке приміщення - приміщення, в якому під впливом різних теплових випромінювань температура повітря перевищує постійно або періодично $+ 35^{\circ}\text{C}$ (наприклад, приміщення із сушарками, печами, котельні тощо).

Щодо небезпеки ураження людей електричним струмом розрізняють:

приміщення з підвищеною небезпекою, які характеризуються наявністю в них однієї з умов, що створює підвищену небезпеку:

- 1) струмопровідної підлоги (металева, земляна, залізобетонна, цегляна тощо);
- 2) високої температури;
- 3) можливості одночасного дотику людини до металоконструкцій будівель, технологічних апаратів, механізмів тощо, які мають з'єднання з землею, з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування – з іншого;

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де встановлена ПОУ, слід віднести до жаркого приміщення з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом.

Для приміщення, де встановлена ПОУ, слід вибирати мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин, електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів не менше IP44.

Оскільки датчики температури води і молока, а також виконавчі механізми подачі пари і молока монтуються безпосередньо на установці, то їх виконання повинно передбачати ступінь захисту не менше IP44.

На обслуговуючий персонал діють такі шкідливі чинники, як шум та підвищена температура. Тому АРМ оператора-технолога доцільно винести в окреме приміщення, в яке зводиться вся необхідна інформація про стан

технологічних параметрів. В системі слід передбачити можливість місцевого та дистанційного керування технологічним обладнанням.

5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання

В ході пастеризації молока використовуються наступні технічні засоби:

5.2.1 Для виміру температури молока та води застосований датчик температури Omnigrad T TST487 - термоперетворювач опору (Pt100) фірми Е+Н. З вбудованим нормуючим перетворювачем іTEMP TMT181 - аналоговий вихід 4-20 мА. Живлення 24В DC, ступінь захисту IP 68.

	Технічні характеристики: Технічні характеристики: Матеріал захисної трубки/термогільзи 1.4404 (316L) Приєднання до процесу Внутрішнє різьблення: G1/2" Форма наконечника датчика Пряма робочий діапазон PT 100: -50 °C ...300 °C Макс. робочий тиск (статичний) при 20 °C: 20 бар Похибка Клас А за IEC 60751 Час відгуку $t_{50} = 4$ с $t_{90} = 8$ с Вбудований нормуючий перетворювач TMT181 (4 ... 20 мА, HART, PROFIBUS PA, FOUNDATION FIELDBUS)
а)	б)

Рис.- 5.1. Датчик температури Omnigrad T TST487:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

	Технічні характеристики: вихідний сигнал 4..20 мА; напруга живлення 3..35 V DC
а)	б)

Рис.5.2.- Вбудований перетворювач температури (4/20 мА) іTEMP TMT181:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.2.3 Для контролю тиску пари в паропроводі, а також тиску води та молока в трубопроводах застосоване реле тиску RT 110L, степiнь захисту IP54.

	Технічні характеристики: вихідний сигнал 4..20 мА; напруга живлення 3..35 V DC
а)	б)

Рис.- 5.3 Реле тиску RT 200L:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.2.5 Для контролю рівня молока та води й ємностях застосовані датчики-реле рівня DLS–27–31, які призначені для зчитування рівня електропровідних рідин. Стрижневий електрод датчика виконаний із нержавіючої сталі сталі і забезпечує повну ізоляцію від продукту. Монтаж датчика можливий збоку або зверху ємності. Максимальна довжина електрода складає 2м і вказується при замовленні.

	Технічні характеристики:	
	напряжение питания	7 ... 36 В DC
	выходы	NPN ; PNP ; NAMUR
	диапазон рабочих температур	-20 ... +80°С
	средние температуры	-30 ... +200°С
	тех. присоединение	резьба M27x2 ; M30x1,5 ; G ¾" ; TriClamp
	класс защиты	IP67
а)	б)	

Рис.- 5.4 Датчик-реле рівня DLS–27–31:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

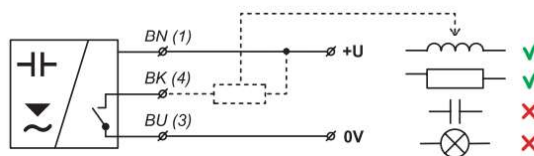


Рис. 5.5 Схеми підключення датчика-реле рівня DLS–27–31

При вертикальній установці можна скористатися гістерезисом, що настраюється, для простого двопозиційного регулювання висоти рівня між мін. та макс. значенням. Межі рівнів можна змінювати шляхом налаштування чутливості датчика. Різниця між мін. та макс. рівнями налаштовується шляхом зміни гістерезису.

5.3. Вибір технічних засобів реалізації керуючих дій на технологічний процес і керування обладнанням

5.3.1 Для подачі пари використаний електромагнітний клапан ODE 21X3KT190. Електромагнітні клапани 2/2-ходові нормально закриті непрямої дії (з пілотним керуванням) моделі 21X3KT190 застосовуються в харчовій, хімічній та ін галузях промисловості для автоматичного перекриття потоків гарячої води, пари, хімічних продуктів та ін рідких і газоподібних середовищ. Детальніше: <https://ode.com.ua/katalog/elektromagnitnyj-klapan-21x3kt190-g3-4>



Рис. 5.6 Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики
клапану ODE 21X3KT190

5.3.2 Для зміни витрат гарячої води застосований перетворювач частоти SINAMICS G120P 0,75 кВт 3-ф/380



Серія	Sinamics G120
SKU	6SL3210-1NE12-2UL0
Основна потужність	0.7 кВт
Живлення на вході	3-ф/380 В
Кількість фаз/напруга на виході	3-ф/380 В
Mmax (1 min)	150 %
Номинальний Струм	2.2 А

Рис. 5.7 Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики
SINAMICS G120P 0,75 кВт 3-ф/380

Під SINAMICS G120P мається на увазі комбінація модуля керування SINAMICS CU230P-2 ВТ з силовим модулем SINAMICS PM230, що застосовується з насосами і вентиляторами, а також панель оператора.

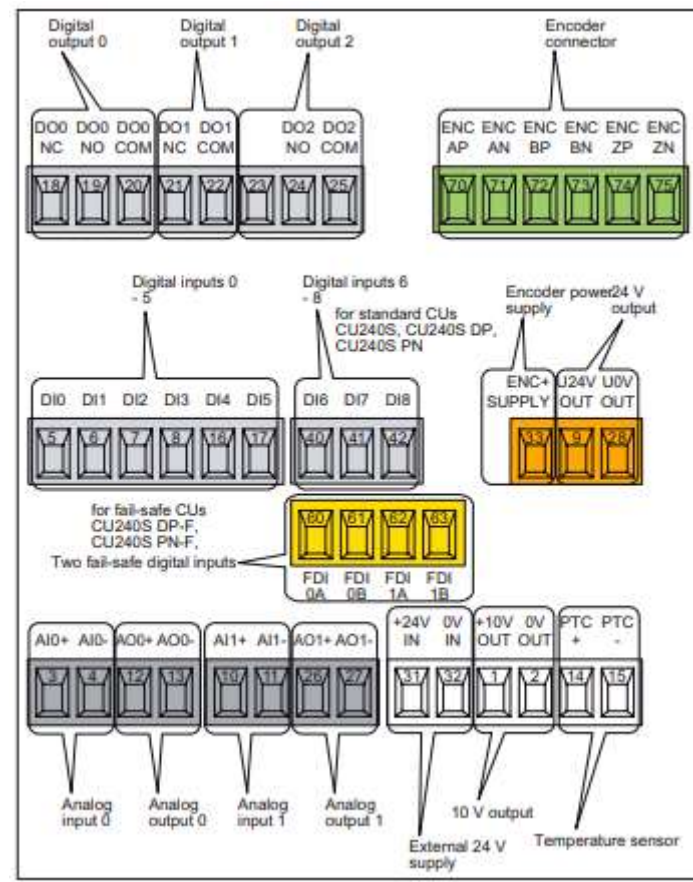


Рис. 5.8 Електричні підключення модуля керування SINAMICS CU230P-2 BT

Для насосів та вентиляторів реалізовані спеціально розроблені функції:

- Автоматичний перезапуск – додаток продовжує роботу після відмови харчування або помилки;
- Перезапуск на ходу – підключення перетворювача в процесі роботи двигуна;
- Енергозберігаючий режим (ECO mode): збереження енергії за допомогою автоматичної адаптації струму до умов навантаження, що встановилися, для підтримки постійного значення швидкості при меншій динаміці;

- Каскадування двигунів – один перетворювач можна використовувати для керування до 4 двигунами, залежно від витрати, наприклад, для об'ємних потоків, які сильно змінюються;
- Гібернація - автоматичний сплячий режим для оптимізації управління та витрати енергії;
- 4 вбудовані ПІД-регулятори – для регулювання перетворювачем таких змінних, як: тиск, температура, швидкості подачі, рівні, якість повітря та ін.

5.3.3 Для подачі та зміни напрямку руху води та молока застосовані двухходовий клапан Belimo R432 та трьох ходовий клапан Belimo R532 з виконавчими механізмами Belimo NRQ24A.

		Технічні характеристики високотемпературних клапанів SV-SH	
		Конструкція	Дволінійний двопозиційний нормально закритий клапан з одностороннім пілотним ел. управлінням
		Матеріали	Нержавіюча сталь, Teflon
		Приєднання	Різьбове
			Фланцеве
		Кріплення	Вертикальне
		Діапазон робочих температур	від 0 до 250° C
		Напруга живлення	AC 220В, AC 110В (потужність 33VA), DC 24В (потужність 24W)
		Допустима зміна напруги живлення	±10%
		Робоче середовище	Повітря, вода, пар та інші речовини, сумісні з матеріалами клапану

Рис. 5.9 Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики клапану R532

				
	Технічні дані			
Електричні параметри		LV24A-SZ-TPC	NV24A-SZ-TPC	SV24A-SZ-TPC
Напруга живлення		AC/DC 24 В		
Частота напруги живлення		50/60 Гц		
Діапазон напруги живлення		AC 19,2...28,8 В / DC 21,6...28,8 В		
Споживана потужність під час руху		1 Вт	1,5 Вт	2 Вт
Споживана потужність при утриманні		0,5 Вт	0,5 Вт	1,5 Вт
Розрахункова потужність		2 ВА	3 ВА	3,5 ВА
Функціональні дані				
Електричне підключення		Клемна колодка 4 мм ² і кабель 1 м, 3x0,75		
Керування				
Керуючий сигнал Y		0...10 В DC, вхідний опір 100 кОм		
Робочий діапазон		0,5...10 В DC (для серії -SZ), 2...10 В DC		
Напруга зворотнього зв'язку U		2...10 В DC, макс. 1 мА		
Точність позиціонування		±5%		
Зусилля		500 Н	1000 Н	1500 Н
Ручне керування		Шестигранним ключем при натисненій кно		
Хід штоку		15 мм	20 мм	20 мм
Час ходу штоку				
-стандартні приводи		150 с / 15 мм	150 с / 20 мм	150 с / 20 мм
-пришвидшені приводи (LVC...,NVC...,SVC...,EVC...)		35 с / 20 мм	35 с / 20 мм	35 с / 20 мм
Рівень шуму		45 дБ (А)	45 дБ (А)	35 дБ (А)

Рис. 5.10 Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики виконавчого механізму BELIMO NRQ24A

Привід відноситься до лінійки прискорених приводів з часом ходу 9 с. Керується привід стандартним сигналом 0...24 В DC. Напруга живлення – AC/DC 24V. Електропривод легко кріпиться на клапан за допомогою одного гвинта, горизонтально у кожному з чотирьох положень.

Кут повороту налаштовується механічними упорами. Електропривод захищений від перевантаження, не вимагає кінцевих вимикачів і автоматично зупиняється при досягненні кінцевих положень..

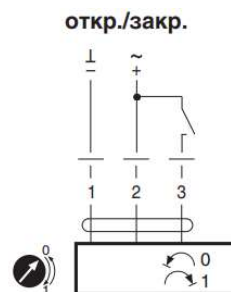


Рис. 5.11 Схема електричних підключень електроприводу BELIMO NRQ24A

5.4. Вибір альтернативних варіантів технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі

5.4.1 Попередній вибір принципів побудови технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі. Оскільки ПОУ розміщується в приміщенні цеху компактно, то відповідно датчики та виконавчі пристрої, які встановлені на неї, також розміщуються на невеликих відстанях одні від інших. Тому шафу з ПЛК та допоміжним устаткування доцільно розташувати в приміщенні цеху неподалік від установки, що скоротить довжини кабелів при підключенні. Тому виберемо централізовану контролерно-комп'ютерну мережу з реалізацією АРМ на панелі оператора, яка може бути встановлена на передній панелі шафи або в окремому приміщенні. Для реалізації розроблених алгоритмів керування оберемо ПЛК SIMATIC S7-1500 із середовищем програмування TIA Portal.

5.4.2 Аналіз вхідних і вихідних сигналів і вибір топології побудови системи. Виконавши аналіз системи автоматизації пастеризації молока за розділами 1...4, складемо таблицю зі списком параметрів, які повинні оброблятися в керуючому пристрої - контролері.

Табл. 5.5 Список параметрів на входах або виходах контролера

№ пп	Найменування параметру	Вид A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході або виході контролера
1	Температура пастеризованого молока	A	I	0...20 mA DC
1	Температура охолодженого молока	A	I	0...20 mA DC
2	Температура гарячої води	A	I	0...20 mA DC
3	Сигнал датчика-реле тиску пари	D	I	24 V DC
4	Сигнал датчика-реле тиску сирого молока	D	I	24 V DC
5	Сигнал датчика верхнього рівня молока	D	I	24 V DC

6	Сигнал датчика нижнього рівня молока	D	I	24 V DC
7	Сигнал датчика верхнього рівня води	D	I	24 V DC
8	Сигнал датчика нижнього рівня води	D	I	24 V DC
9	Сигнал стану авт. вимикача M1	D	I	24 V DC
10	Сигнал стану контактора M1	D	I	24 V DC
11	Сигнал перемикача режиму M1	D	I	24 V DC
12	Сигнал стану авт. вимикача M2	D	I	24 V DC
13	Сигнал стану кнопки СТОП M2	D	I	24 V DC
14	Сигнал перемикача режиму M2	D	I	24 V DC
15	Сигнал помилки ПЧ M2	D	I	24 V DC
16	Сигнал керування M1	D	O	24 V DC
17	Сигнал керування M2	D	O	24 V DC
18	Сигнал квітування помилки ПЧ M2	D	O	24 V DC
19	Сигнал керування відсічним клапаном подачі пари	D	O	24 V DC
20	Сигнал керування відсічним клапаном подачі сирого молока	D	O	24 V DC
21	Сигнал керування відсічним клапаном подачі охолоджувальної води	D	O	24 V DC
22	Сигнал керування перекидним клапаном подачі молока	D	O	24 V DC
23	Сигнал керування звуковою сигналізацією	D	O	24 V DC
24	Сигнал керування ПЧ M2	A	O	0...10 V DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:

AI – 3, AO – 1, DI – 13, DO – 8.

5.4.2. Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.

Враховуючи, що центральний процесор і модулі системи мають виконання IP20, доцільно розмістити їх у настінній шафі зі ступенем захисту не менш IP54.

На наступних рисунках наведені рекомендації з монтажу Simatic S7-1500 у шафі з урахуванням зазорів, можливості розсіювання тепла, а також схема заземлення.

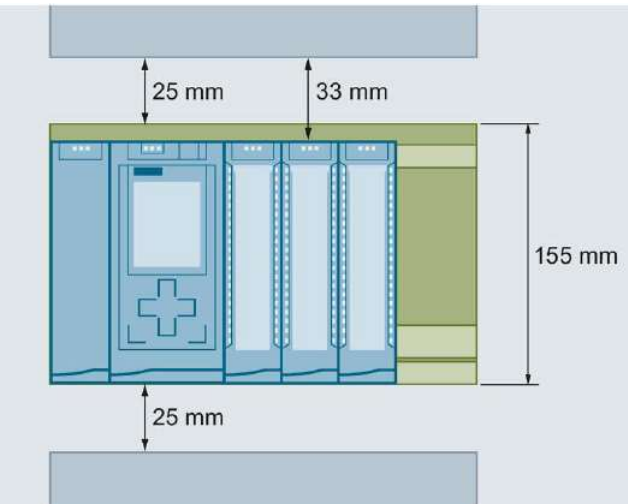


Рис. 5.12 Зазори при встановленні S7-1500 у шафі

Приміщення цеху опалювальне, що дозволяє використовувати модулі звичайного виконання.

Враховуючи список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролеру, схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування приймає наступний вигляд.

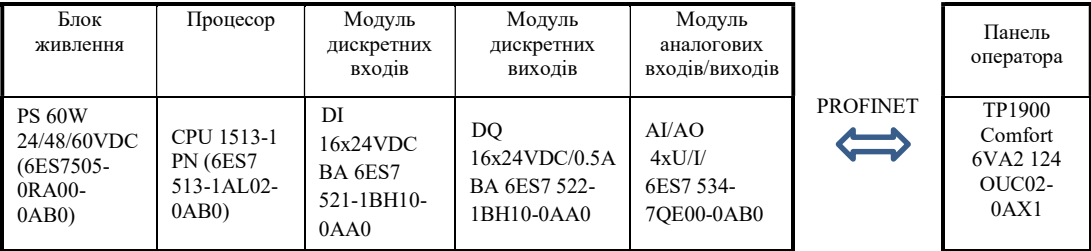


Рис. 5.15 Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування

Центральний процесор CPU 1513-1 PN (6ES7 513-1AL02-0AB0) призначений для побудови систем управління, що вимагають виконання програм середнього обсягу, середньої/високої швидкості обробки даних та обслуговування систем розподіленого вводу-виводу на основі мережі PROFINET IO.

Load memory	
• Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	32 Gbyte
Backup	
• maintenance-free	Yes
CPU processing times	
for bit operations, typ.	40 ns
for word operations, typ.	48 ns
for fixed point arithmetic, typ.	64 ns
for floating point arithmetic, typ.	256 ns
CPU-blocks	
Number of elements (total)	4 000; Blocks (OB, FB, FC, DB) and UDTs
DB	
• Number range	1 ... 60 999; subdivided into: number range that can be used by the user: 1 ... 59 999, and number range of DBs created via SFC 86: 60 000 ... 60 999
• Size, max.	1.5 Mbyte; For DBs with absolute addressing, the max. size is 64 KB
FB	
• Number range	0 ... 65 535
• Size, max.	300 kbyte
FC	
• Number range	0 ... 65 535
• Size, max.	300 kbyte

Рис. 5.16 Технічні дані CPU

Для вводу дискретних сигналів обраний модуль DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0). Він здатен сприймати до 16 сигналів від датчиків, на виходах яких є сигнали $-3...+5$ VDC (рівні логічного нуля) або $+11...30$ VDC (рівні логічної одиниці).

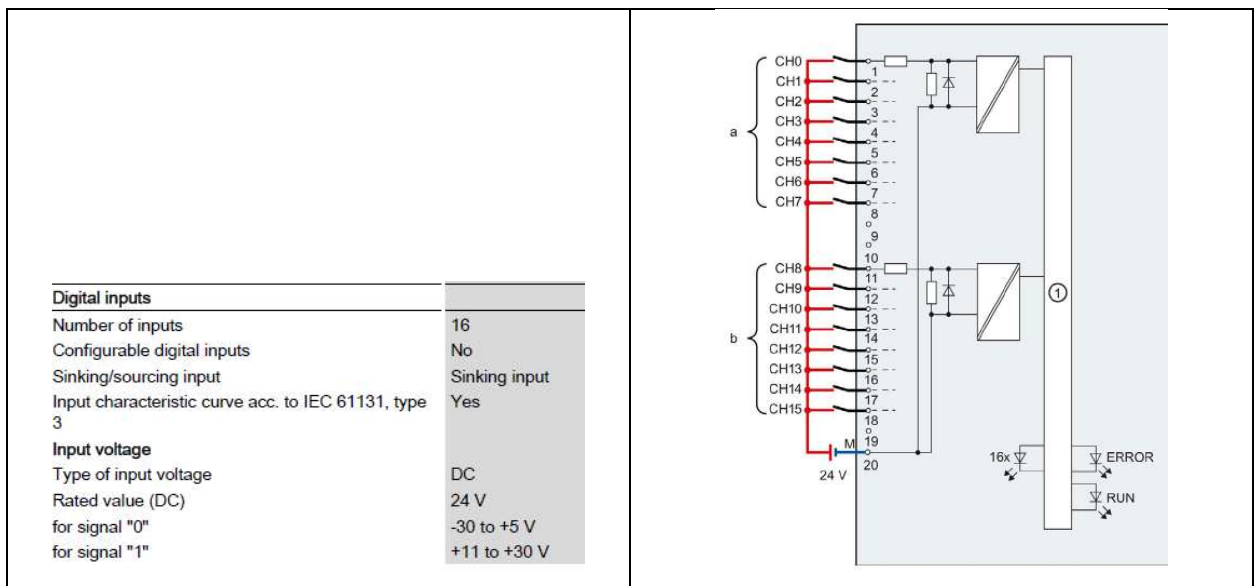


Рис. 5.17 Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA

Для виводу дискретних сигналів обраний модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0). При виводі керуючих сигналів на його виходах з'являється напруга 24 VDC, вихідні транзистори здатні продукувати струм на навантаження до 0,5 А.

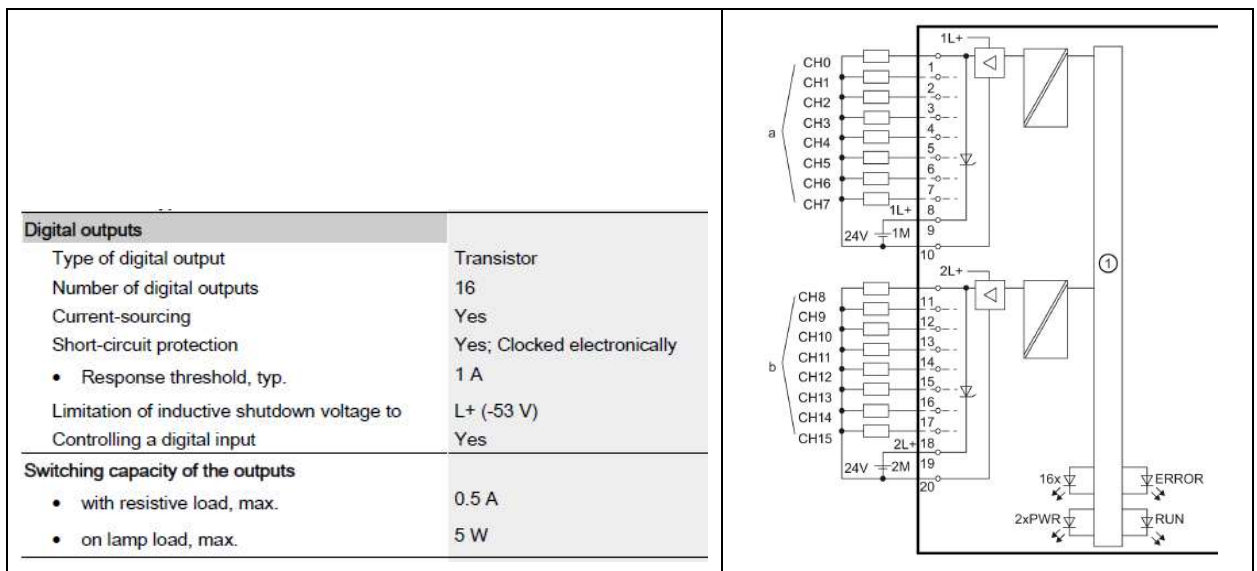


Рис. 5.18 Технічні характеристики та схема підключень

DQ 16x24VDC/0.5A BA

Для вводу/виводу аналогових сигналів обраний модуль AI 4xU/I AQ 2x4xU/I (6ES7534-7QE00-0AB0). Він здатен сприймати аналоговий сигнал струму 4...20 mA DC від датчиків з 4-х провідною або 2-х провідною схемами підключення.

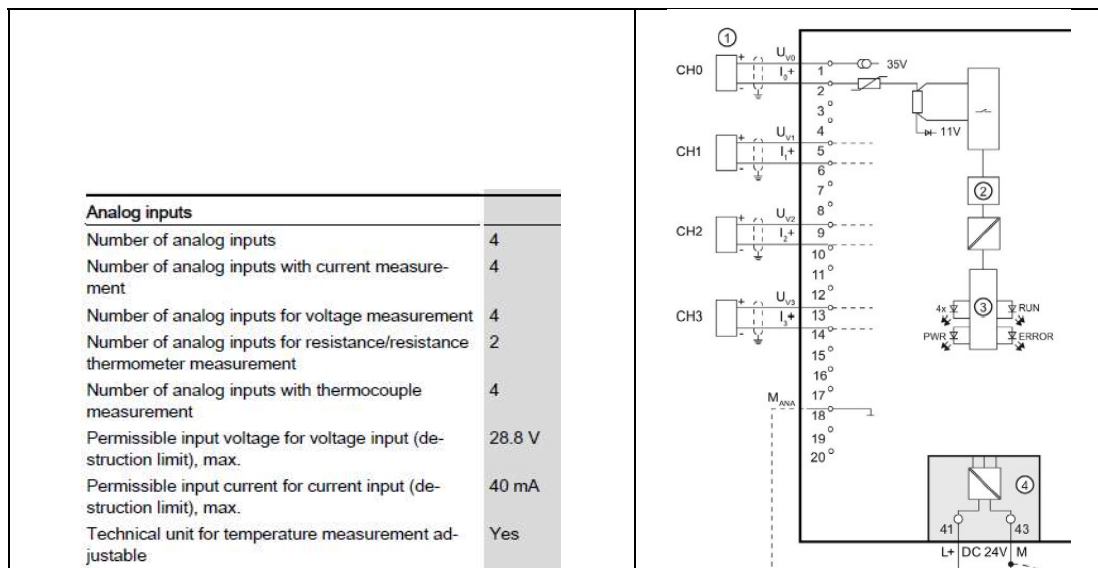


Рис. 5.19 Технічні характеристики та схема підключень датчиків сили струму до входів 6ES7534-7QE00-0AB0

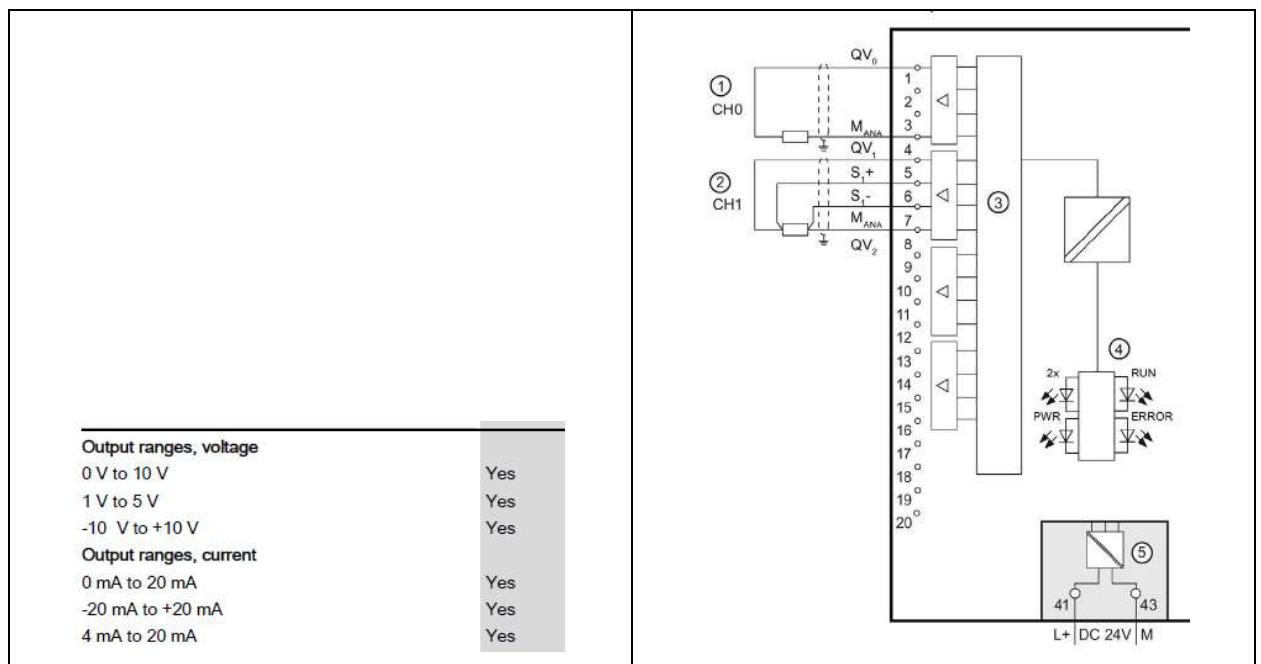


Рис. 5.20 Технічні характеристики та схема формування уніфікованої напруги на виходах 6ES7534-7QE00-0AB0

До виходів цього модуля можна підключати виконавчі механізми, які сприймають керуючий сигнал із діапазону 0...10 V DC по 2-х провідній або 4-х провідній схемі підключення. Виходи мають захист від короткого замикання.

Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити керування пастеризацією молока в ПОУ. Класи точності, ступінь захисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Виходи датчиків та входи виконавчих механізмів сумісні з входами/виходами ПЛК. Мікропроцесорне ядро системи керування побудоване за централізованою схемою із використанням ПЛК SIMATIC S7-1500 та панелі оператора TP1900 Comfort, об'єднаних по мережі Profinet, що забезпечує можливість подальшого розвитку системи.

РОЗДІЛ 6

ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ, КОНТРОЛЕРА І МЕРЕЖ,
ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТА
РЕГУЛЮВАННЯ

6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж

У середовищі TIA Portal створюємо проект, до складу якого додаємо контролер CPU 1513-1 PN та панель оператора TP1900 Comfort. Ці засоби за своїми технічними характеристиками дозволяють вирішити поставлену задачу автоматизації.

Конфігуруємо мережеві зв'язки між обраним контролером та панеллю оператора, для чого у вікні пов'язуємо їх та вказуємо IP адреси. В якості типу з'єднання обираємо HMI connection.

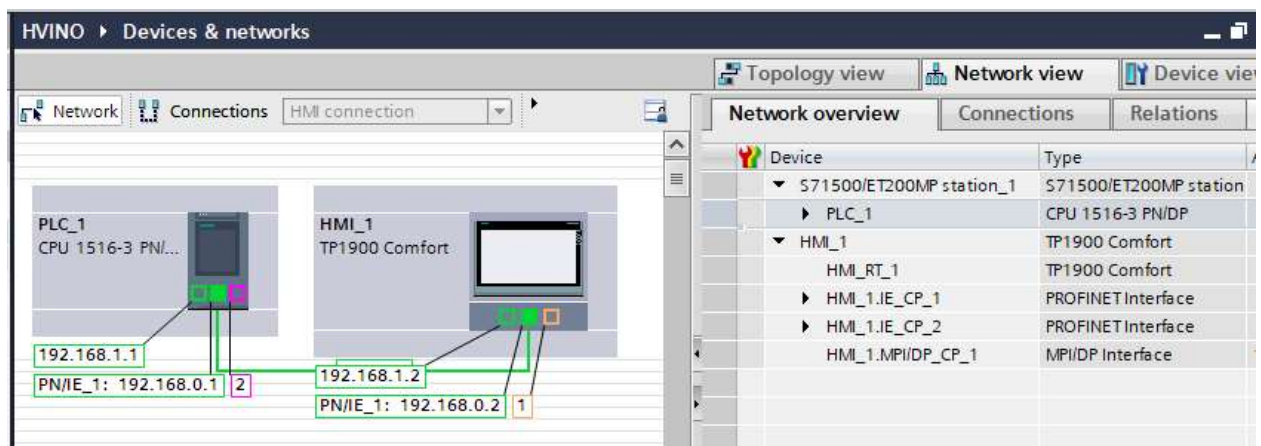


Рис. 6.1 Визначення складу технічних засобів проекту

На вкладці Properties контролера (CPU) встановлюємо «галочки», щоб мати можливість користуватися байтами системної пам'яті та байтами часової пам'яті (рис. 6.2).

Далі обираємо з каталогу необхідні модулі вводу/виводу, для чого перетягуємо їх за допомогою миші в поле редагування з бібліотеки (рис. 6.3) Присвоюємо імена фізичним входам і виходам і виконуємо конфігурування модулів ПЗО, для чого обираємо тип і діапазони зміни вхідних та вихідних сигналів (рис. 6.4)

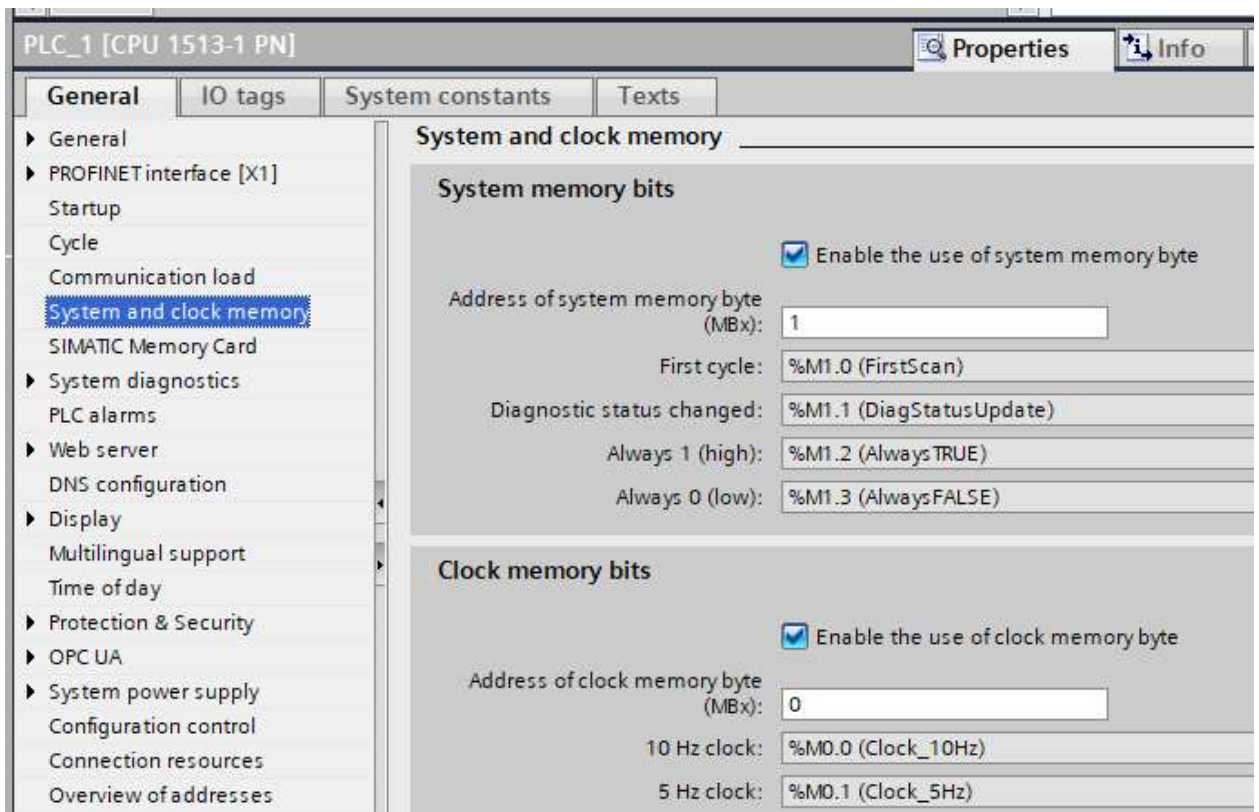


Рис. 6.2 Приклад використання системних областей пам'яті CPU

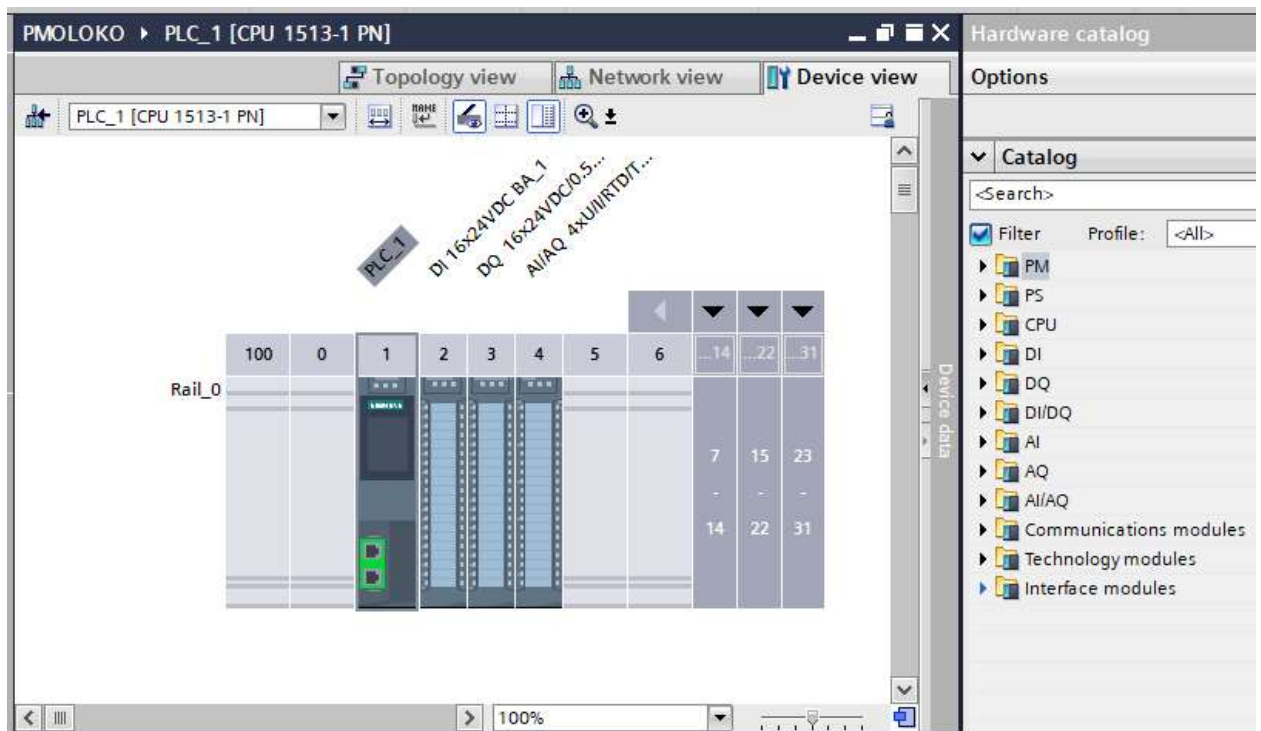


Рис. 6.3 Приклад визначення модулів ПЗО

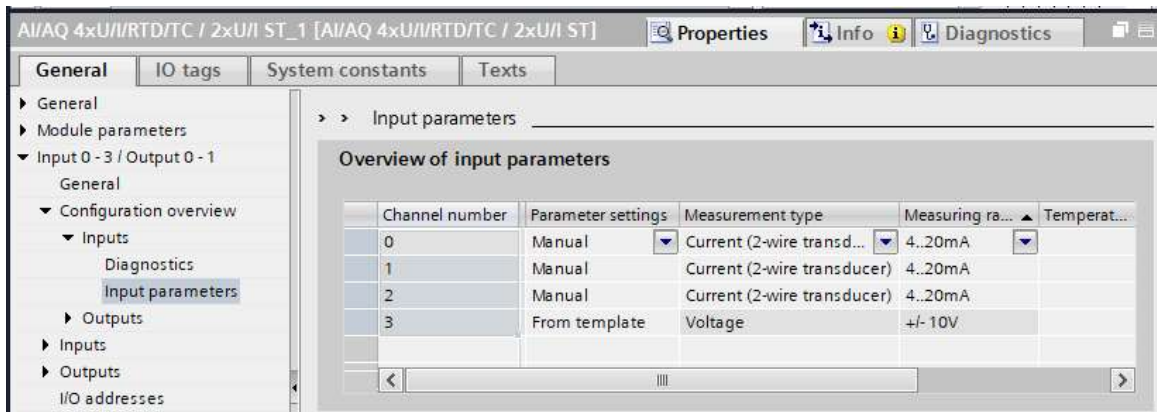


Рис. 6.4 Приклад визначення виду вхідного сигналу
і діапазону його зміни для аналогового модуля

Відповідно до табл. 5.5 проводимо остаточне редагування імен вхідів/виходів в таблиці тегів програми.

	Name	Data type	Address	R...
15	bHomeValveP	Bool	%I0.0	
16	bWorkValeP	Bool	%I0.1	
17	bKontM1	Bool	%I0.2	
18	bKontM2	Bool	%I0.3	
19	bHomeValveM	Bool	%I0.4	
20	bWorkValeM	Bool	%I0.5	
21	bKVRM1	Bool	%I0.6	
22	bKVRM2	Bool	%I0.7	
23	bLevelHi	Bool	%I1.0	
24	bLevelLo	Bool	%I1.1	
25	bAVM1	Bool	%I1.2	
26	bAVM2	Bool	%I1.3	
27	bPar	Bool	%I1.4	
28	bHomeValveV3	Bool	%I1.5	

Рис. 6.5 Приклад вікна таблиці тегів

6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування

6.2.1 В дереві каталогу проекту створюємо два підкаталоги - Cyclic та Logic. В першому будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних

системи регулювання, а в другому будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи логічного керування.

У вкладці Libraries відкриваємо бібліотеку SOL і за допомогою миші перетягуємо в проект теги з бібліотеки SOL та необхідні функціональні блоки для керування електроприводами, аналоговими та відсічним клапанами.

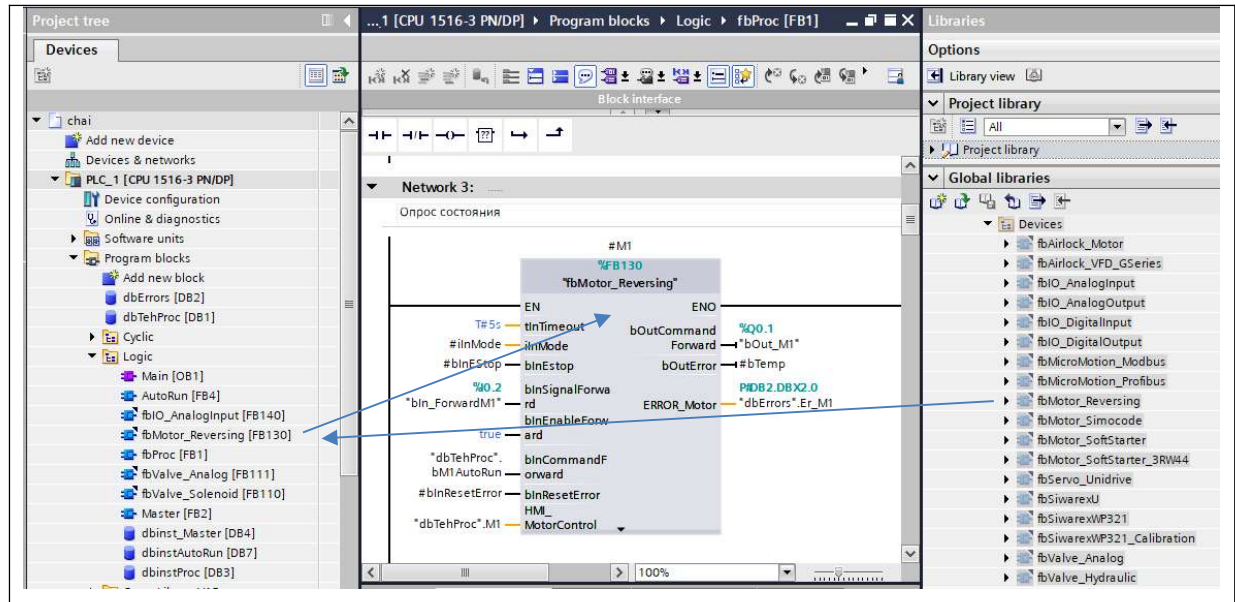


Рис. 6.6 Приклад додавання функціонального блоку FB Motor

Основні функціональні можливості цих блоків:

- формування керуючих впливів;
- - аналіз зворотного зв'язку про результати виконання;
- - формування структур даних для обміну з HMI програмами.

Далі створюємо два глобальних блоки даних dbTehProc, dbErrors, використовуючи бібліотечні типи даних, які розміщені в дереві каталогу проекту PLC data types (рис. 6.7).

6.2.2 Створення підпрограм логічного керування.

Спочатку розробляємо підпрограму fbProc опитування стану обладнання, а саме електроприводу насоса молока M1, аналогового та відсічних та триходового (перекидного) клапанів. Створюємо інтерфейс цього функціонального блоку, в якому в розділах Input, Output, Static, Temp вказуємо імена змінних та їх типи (рис. 6.8).

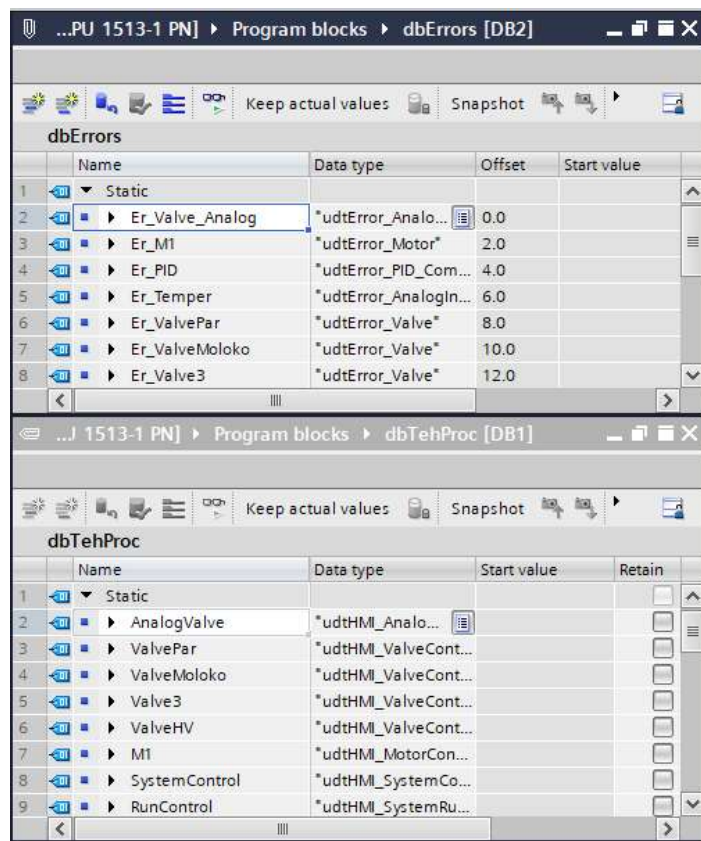


Рис. 6.7 Створення глобальних dbTehProc, dbErrors

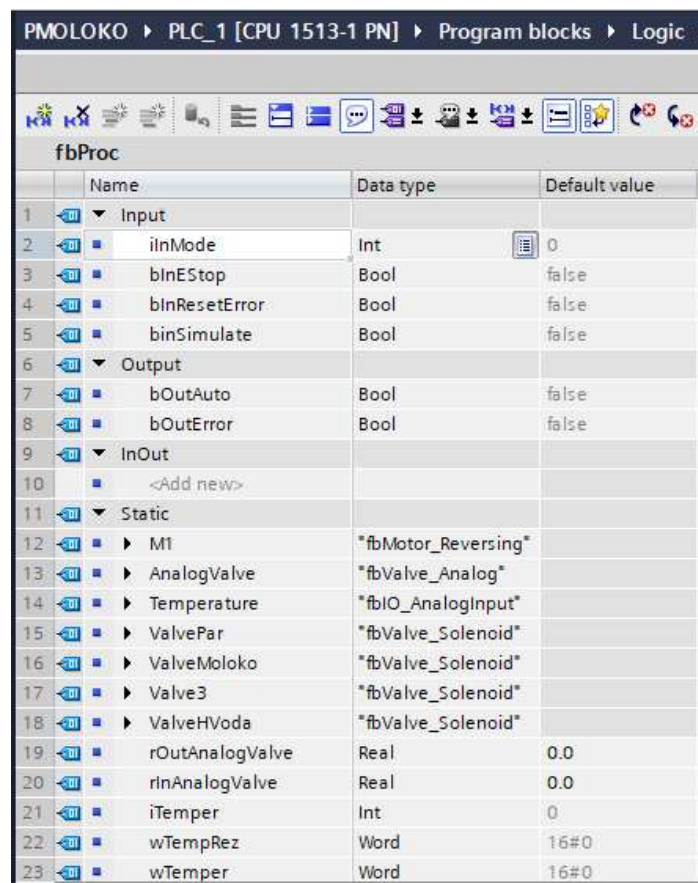


Рис. 6.8 Інтерфейс fbProc

Підпрограма fbProc створена на мові LD. Для кожного електроприводу викликається екземпляр бібліотечного функціонального блоку fbMotor_Reversing та попередньо пишеться строчка програми, яка імітує зворотній зв'язок з виходу цього блоку на його вхід, тобто спрацювання контактора електропривода. До входів/виходів fbMotor_Reversing підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors (рис. 6.9).

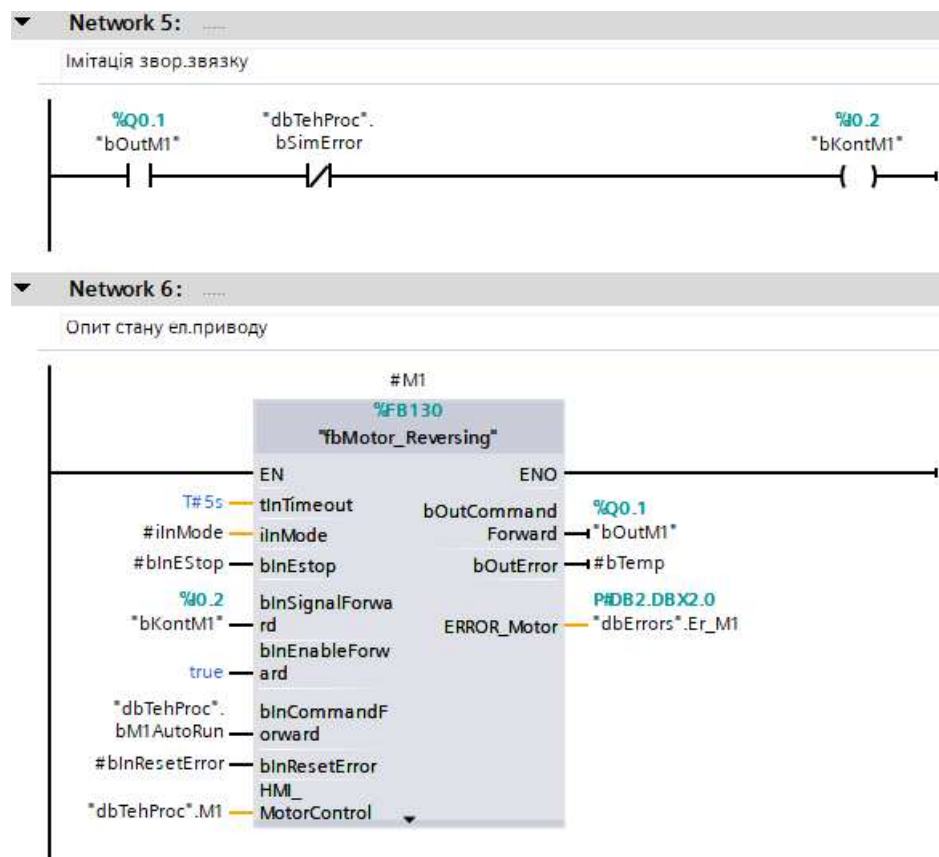


Рис. 6.9 Фрагмент підпрограми fbProc

Аналогічно здійснюється опит стану відсічних (рис. 6.10) та аналогових клапанів (рис. 6.11). Для цього викликаються екземпляри бібліотечних функціональних блоків fbValve_Solenoid, fbValve_Analog, до входів/виходів яких підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors.

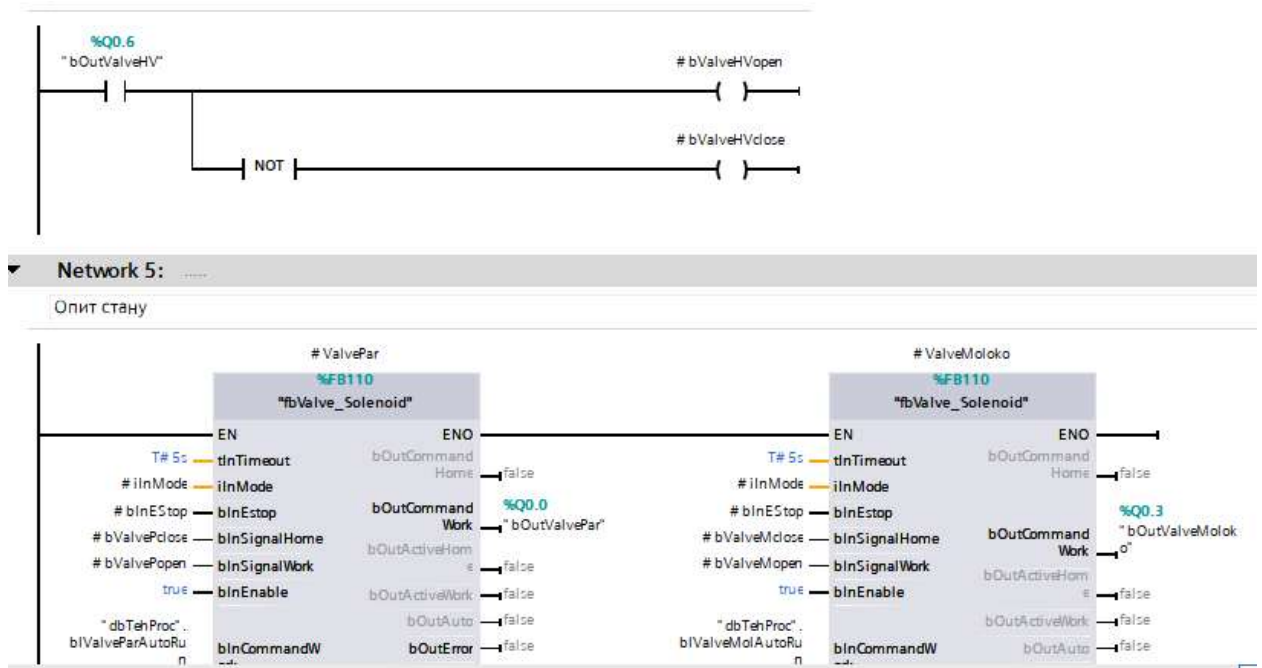


Рис. 6.10 Фрагмент підпрограми fbProc

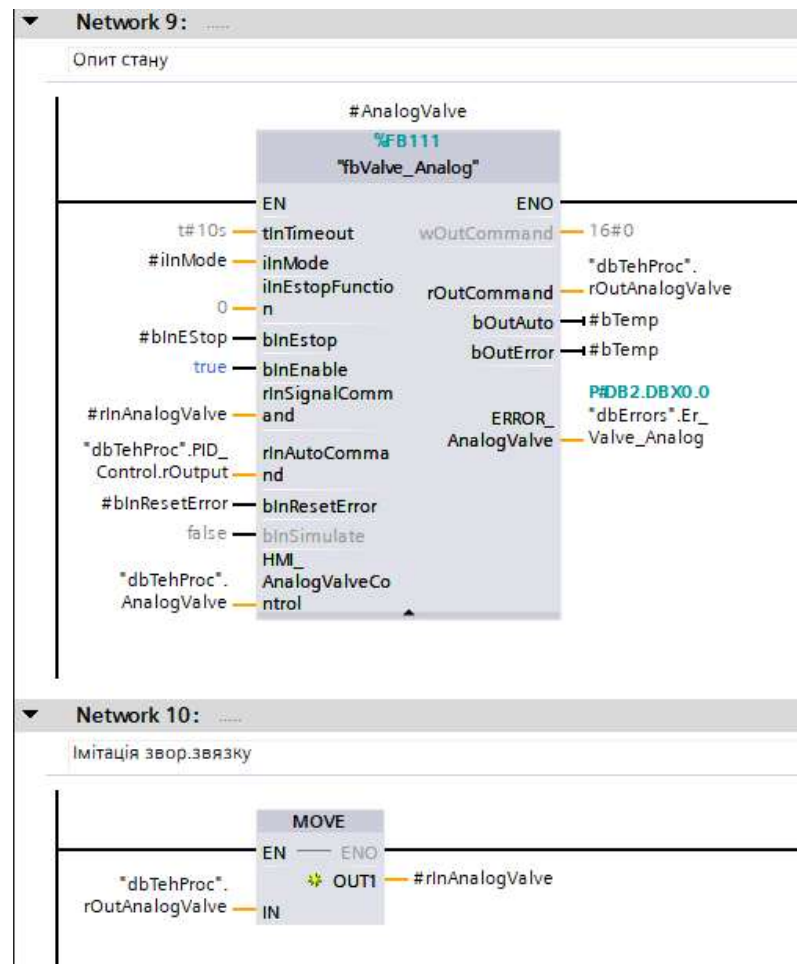


Рис. 6.11 Фрагмент підпрограми fbProc

В кінці програми проводяться перевірки режиму роботи та похибок обладнання.

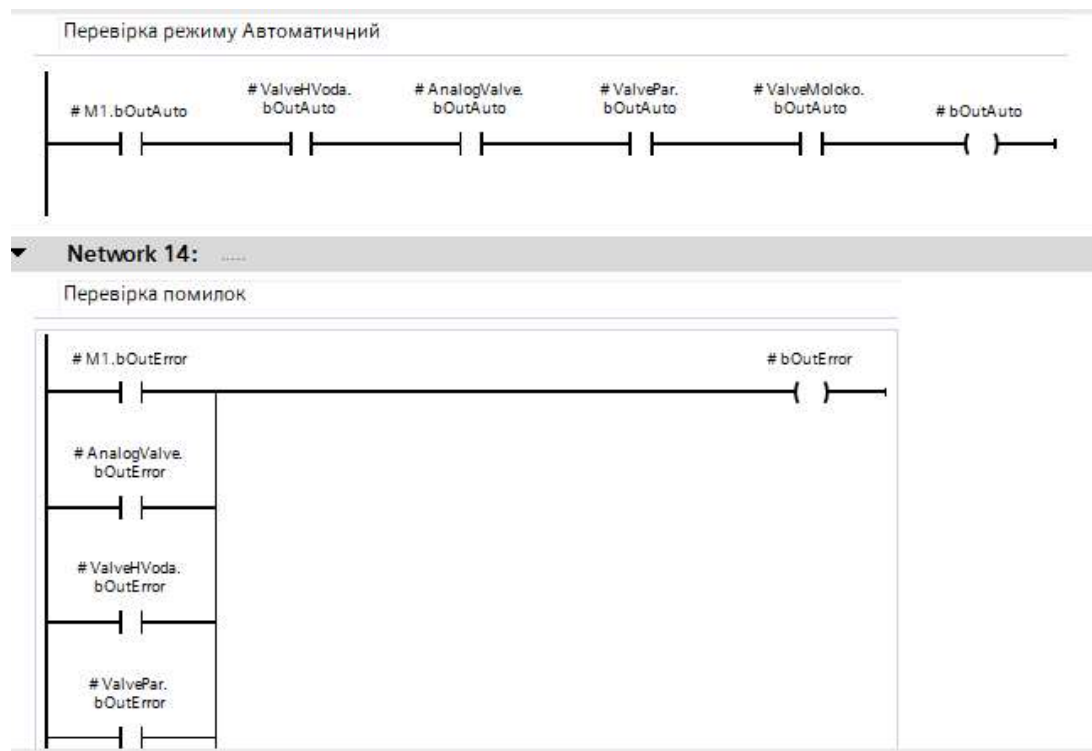


Рис. 6.12 Фрагмент підпрограми fbProc

Далі складаємо підпрограму пуску та зупинки обладнання fbAutoRun, яка базується на алгоритмах, розроблених у розділі 4.

Спочатку створюється інтерфейс функціонального блоку fbAutoRun, в якому вказуються змінні та їх типи.

А далі на мові LD пишуться строки цього блоку (рис. 6.14), які забезпечують почерговий запуск та зупинку електроприводів та клапанів. Інтервали затримок встановлюються у відповідних таймерах типу TON, які відносяться до базових інструкцій мови, так само як і SR-тригери.

PMOLOKO ▸ PLC_1 [CPU 1513-1 PN] ▸ Program blocks ▸ Logic

fbAutoRun

	Name	Data type	Default value
1	▼ Input		
2	bInEnableStart	Bool	false
3	bInNotError	Bool	false
4	▼ Output		
5	bOutAutoRunning	Bool	false
6	▼ InOut		
7	<Add new>		
8	▼ Static		
9	bAutoRun	Bool	false
10	bAutoStop	Bool	false
11	bZvuk	Bool	false
12	bM1	Bool	false
13	bSP	Bool	false
14	bSMol	Bool	false
15	bSHV	Bool	false
16	bSV3	Bool	false
17	Timer1	IEC_TIMER	
18	Timer2	IEC_TIMER	

Рис. 6.13 Інтерфейс функціонального блоку fbAutoRun

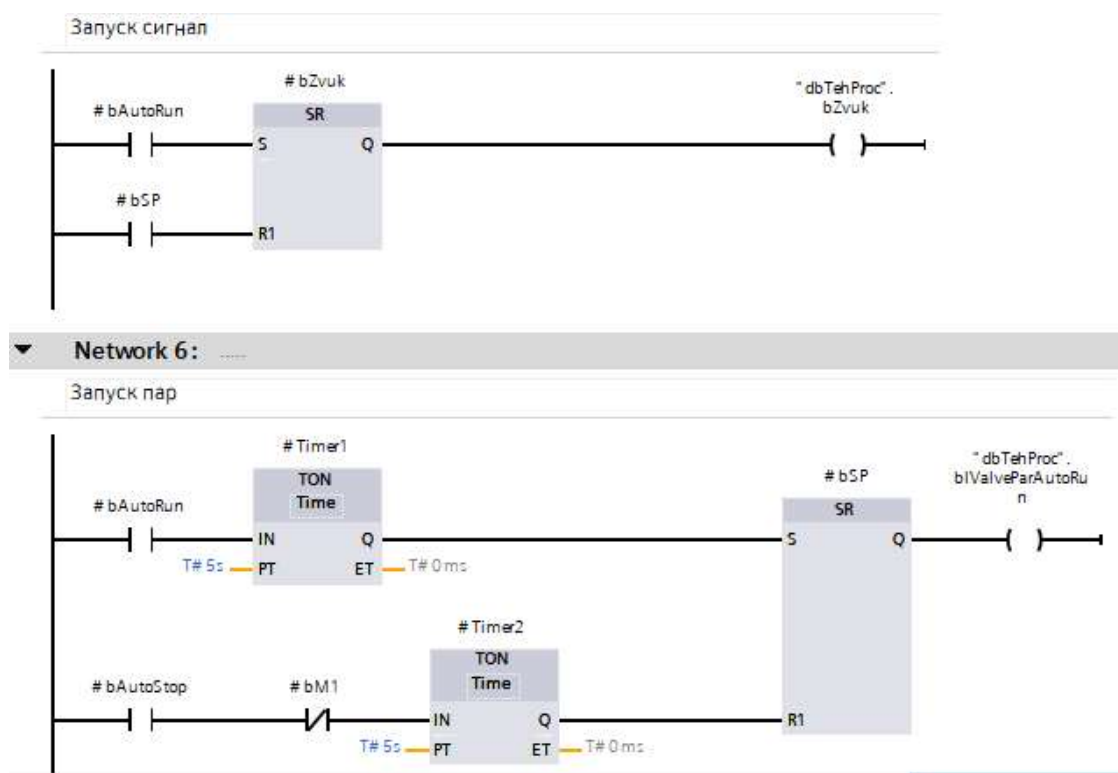


Рис. 6.14 Фрагмент підпрограми fbAutoRun

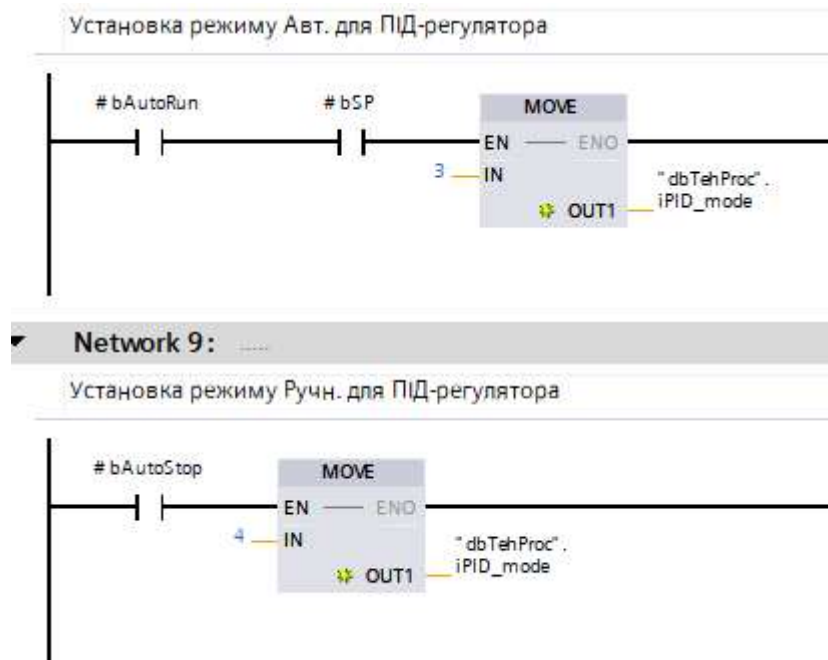


Рис. 6.15 Фрагмент підпрограми AutoRun

Виклик на виконання підпрограм fbProc та fbAutoRun здійснюється в підпрограмі Master (рис. 6.16). Вона в свою чергу викликається на виконання в головній програмі Main (OB1).

Master			
	Name	Data type	Default
1	Input		
2	<Add new>		
3	Output		
4	<Add new>		
5	InOut		
6	<Add new>		
7	Static		
8	bResetProc	Bool	false
9	bSimulate	Bool	false
10	bProcAuto	Bool	false
11	bProcError	Bool	false

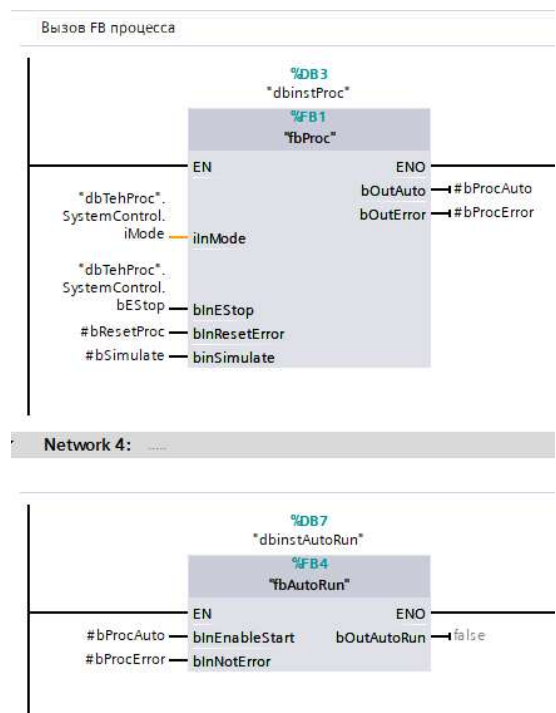


Рис. 6.16 Інтерфейс та текст підпрограми Master

Ці підпрограми виконуються циклічно, що забезпечує опит стану обладнання, його автоматичний пуск і зупинку.

6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання

В розділах 1..3 роботи були розроблені і протестовані алгоритми регулювання, де були визначені параметри моделі об'єкту керування і параметри ПІД-регуляторів.

В середовищі TIA Portal модель САР реалізуємо у функціональному блоці FB SAR, розрахунок якого виконується кожену 0,1 сек в організаційному блоці Cyclic interrupt (OB30). Необхідність використання саме організаційного блока OB30 зумовлена вимогою до точного визначення кроку квантування при розрахунках керуючого впливу.

Модель САР запрограмована з використанням функціональних блоків типового регулятора fbPID_Compact та типових динамічних ланок з бібліотеки LSim (FB LSim_Lagging і FB LSim_PT1), що формують модель ОК. Інтерфейс підпрограми САР представлений на рис. 6.17, в якому вказані змінні підпрограми та їх типи.

	Name	Data type	Def
1	▼ Input		
2	■ <Add new>		
3	▼ Output		
4	■ <Add new>		
5	▼ InOut		
6	■ <Add new>		
7	▼ Static		
8	■ PID_reg	*fbPID_Compact*	
9	■ PID_reg_1	*fbPID_Compact*	
10	■ Zap	*LSim_Lagging*	
11	■ ApZveno	*LSim_PT1*	
12	■ ApZveno_1	*LSim_PT1*	
13	■ uDelayCycles	UInt	9
14	▼ Temp		
15	■ bTemp	Bool	
16	■ iTemp	Int	
17	■ diTemp	DInt	
18	■ dwTemp	DWord	
19	■ rTemp	Real	

Рис. 6.17 Інтерфейс функціонального блоку fbSAR

Перша строчка підпрограми fbSAR містить виклик функціонального блоку ПІД-регулятора fbPID_Compact, до входів/виходів яких підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors.

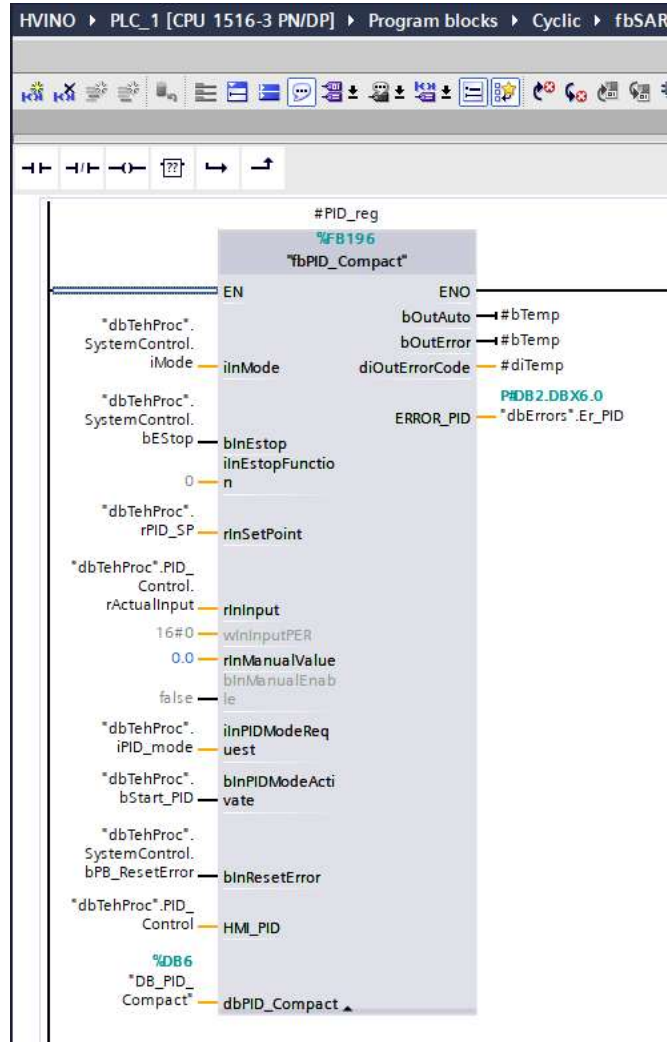


Рис. 6.18 – Фрагмент функціонального блоку fbSAR, що реалізує ПІД-регулятор

Налаштування параметрів ПІД-регуляторів проводимо через їх блоки даних, що знаходяться в розділі Technology objects в дереві каталогу проекту.

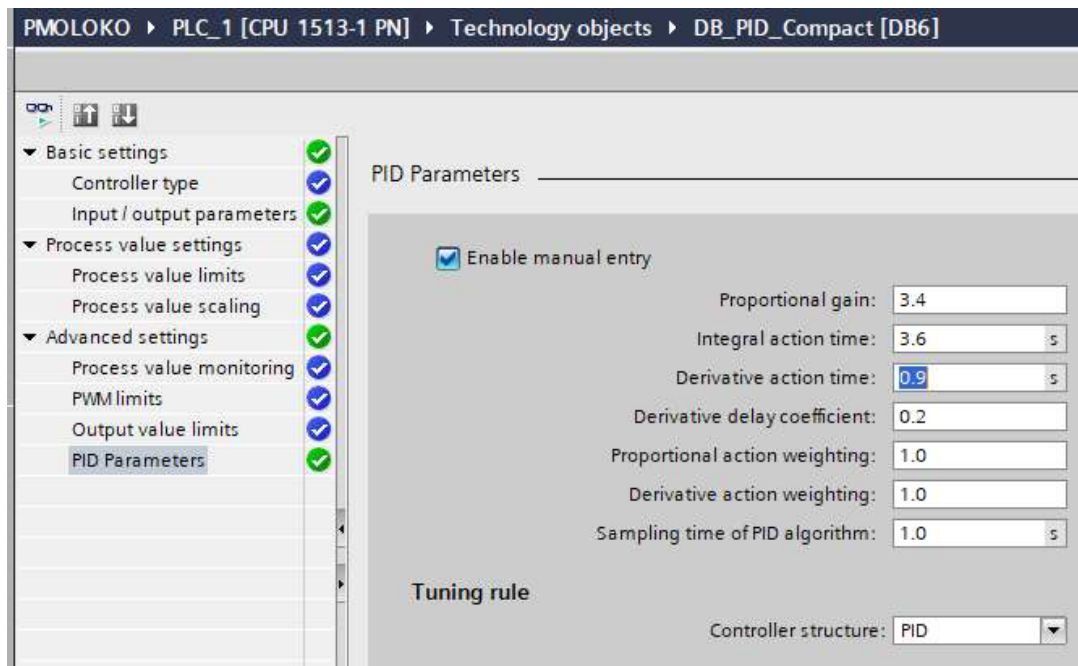


Рис. 6.19 Приклад налаштування параметрів ПІД-регулятора

Далі за допомогою екземплярів типових ланок: запізнення LSim_Lagging та інерційної ланки першого порядку LSim_PT1, викликається на виконання модель ОК (рис. 6.20). Параметри моделі відповідають значенням, розрахованим в розділі 3.

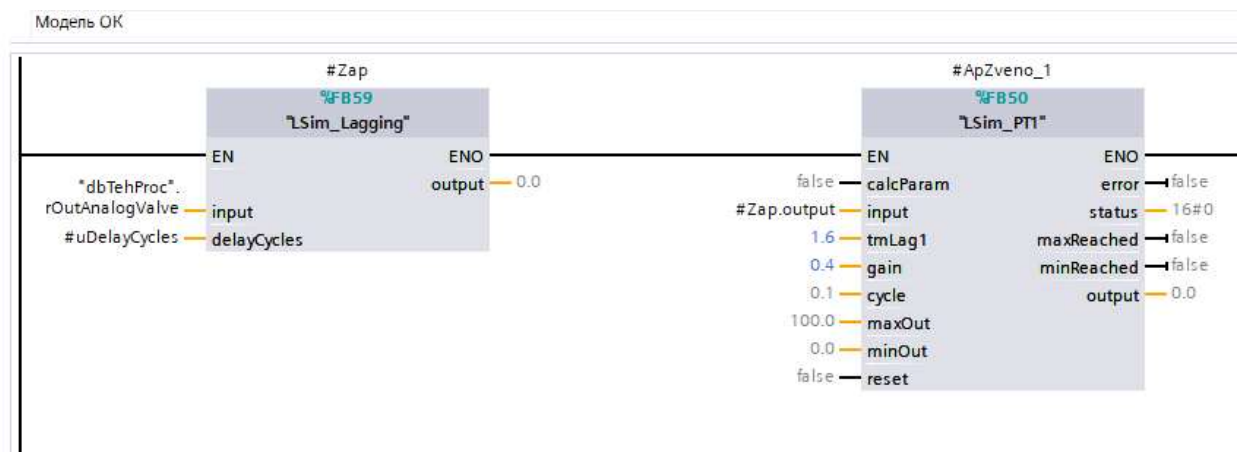


Рис. 6.20 Фрагмент функціонального блоку fbSAR,
що реалізує модель ОК

Тестування проекту проводиться в режимі емуляції контролера з використанням програми S7 PLCSIM. На рисунку 6.21 представлений

загальний вигляд вікна емулятора контролера з працюючою в ньому програмою.



Рис. 6.21 Вигляд вікна програми PLCSIM

Результати тестування підтвердили правильність роботи програми, відповідно до вимог алгоритму керування.

Висновок

В результаті виконання даного розділу були визначені процесор та блоки вводу виводу фірми Siemens сімейства S7-1500, проведено їх конфігурування.

Розроблені програми логічного керування технічними засобами ПОУ та регулювання температури пастеризації молока із використанням бібліотечних функціональних блоків.

Проведено тестування цих програм, яке засвідчило їх відповідність алгоритмам, що були створені в попередніх розділах.

РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКА САК

7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування

Для організації зв'язку вибираємо тип сполучення «HMI connection» та встановлюємо унікальні адреси технічних засобів в мережі PROFINET.

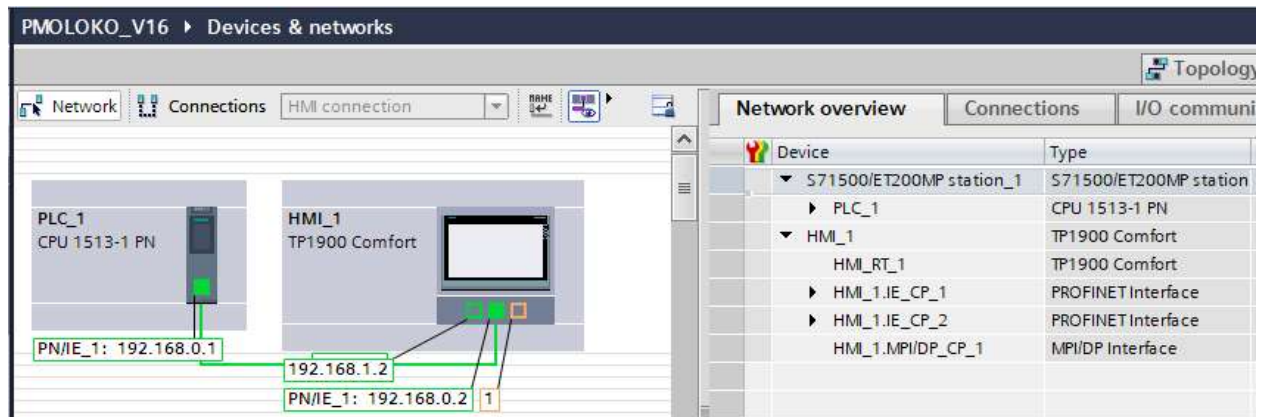


Рис. 7.1 Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх сполучення в мережі

Конфігурування панелі оператора TP 1900 Comfort виконуємо в розділі HMI_1/Runtime settings дерева каталогу проекту.

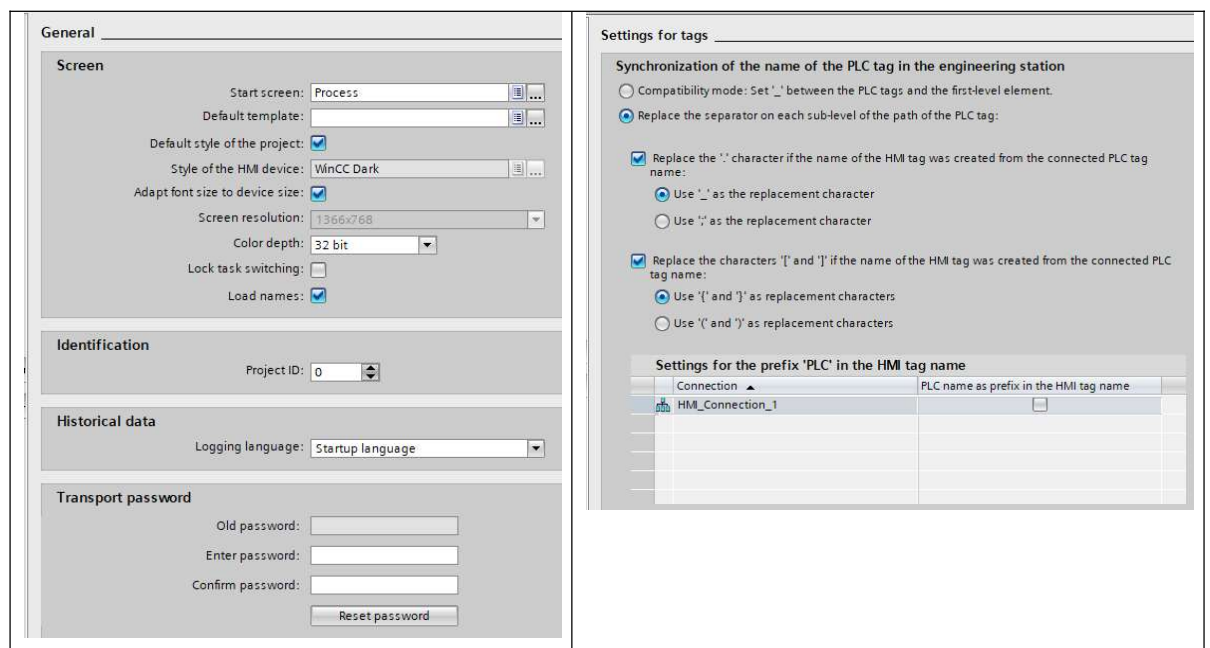


Рис. 7.2 Конфігурування TP 1900 Comfort

Щоб пов'язати між собою теги ПЛК та HMI, створюємо таблицю HMI-тегів Default tag table, куди за допомогою миші перетаскуємо складові блоку даних ПЛК dbTechProc.

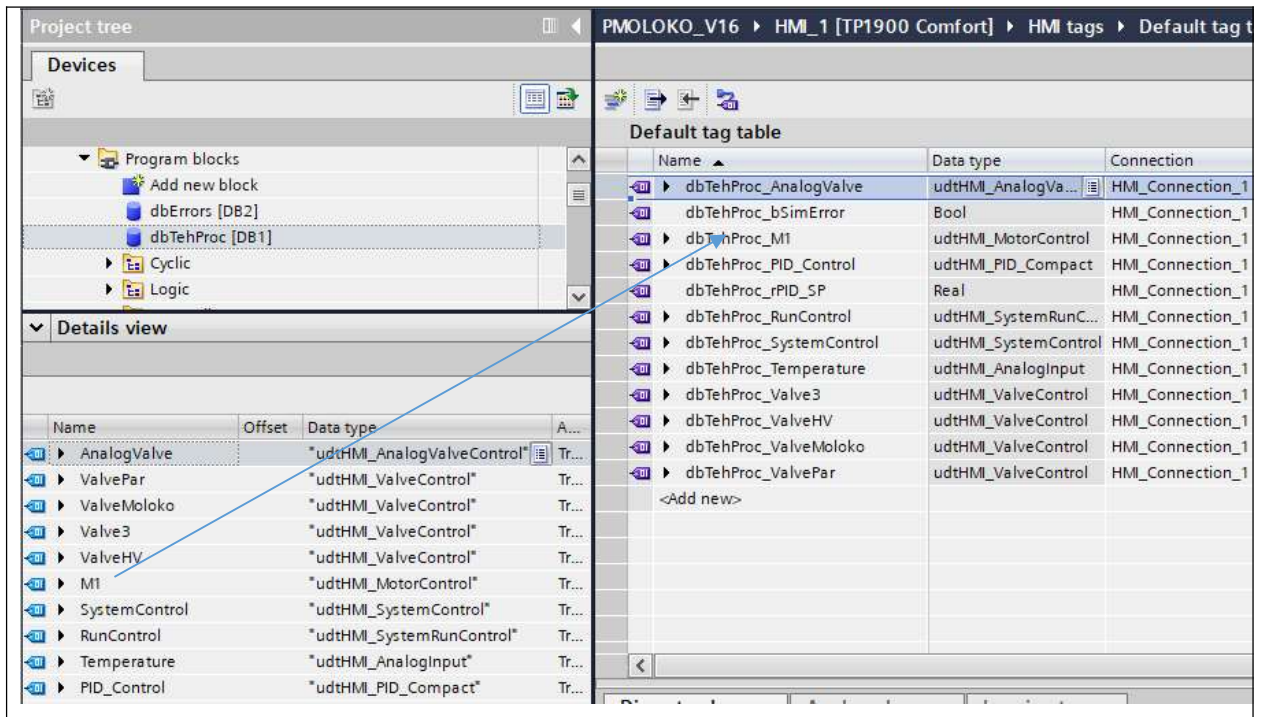


Рис. 7.3 Приклад створення таблиці HMI-тегів

В подальшому завдяки цьому взаємозв'язку зміни в змінних ПЛК будуть відображатися в елементах HMI.

7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога.

Структура екранів автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора-технолога повинна містити в собі екрани для керування процесом вирощування дріжджів:

екран схеми установки для управління технологічним процесом;

екран для спостереження за регульованими змінними;

екран для відтворення діагностичних повідомлень про роботу технологічного агрегату.

Функції екранів АРМ оператора-технолога:

екран схеми установки надає функції управління виконавчими механізмом та електродвигунами, як в автоматичному режимі, так і в ручному;

екран для спостерігання за регульованими змінними надає можливість спостерігати за графіками в реальному часі, змінювати задане значення та налаштування регулятора;

екран для відтворення діагностичних повідомлень надає можливість бачити повідомлення про несправності , а також переглядати повідомлення, які зберігаються в архіві.

7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.

Шаблон екранів розглядається як основа для інших екранів.

Шаблон екранів Template_1 створюється в розділі Screen Management дерева каталогу проекту в розділі НМІ командою Add new template. Графічні елементи розташовані у вікні шаблону будуть присутні на всіх екранах, які входять в проект.

Шаблон екранів включає заголовок екрану і меню перемикання екранів АРМ. Він включає елемент відображення поточної дати і часу, назву проекту, прізвище розробника проекту. Для їх створення із розділу Toolbox проекту використаємо інструменти редагування Text field та Data/Time field, які за допомогою миші встановимо на екрані шаблону.

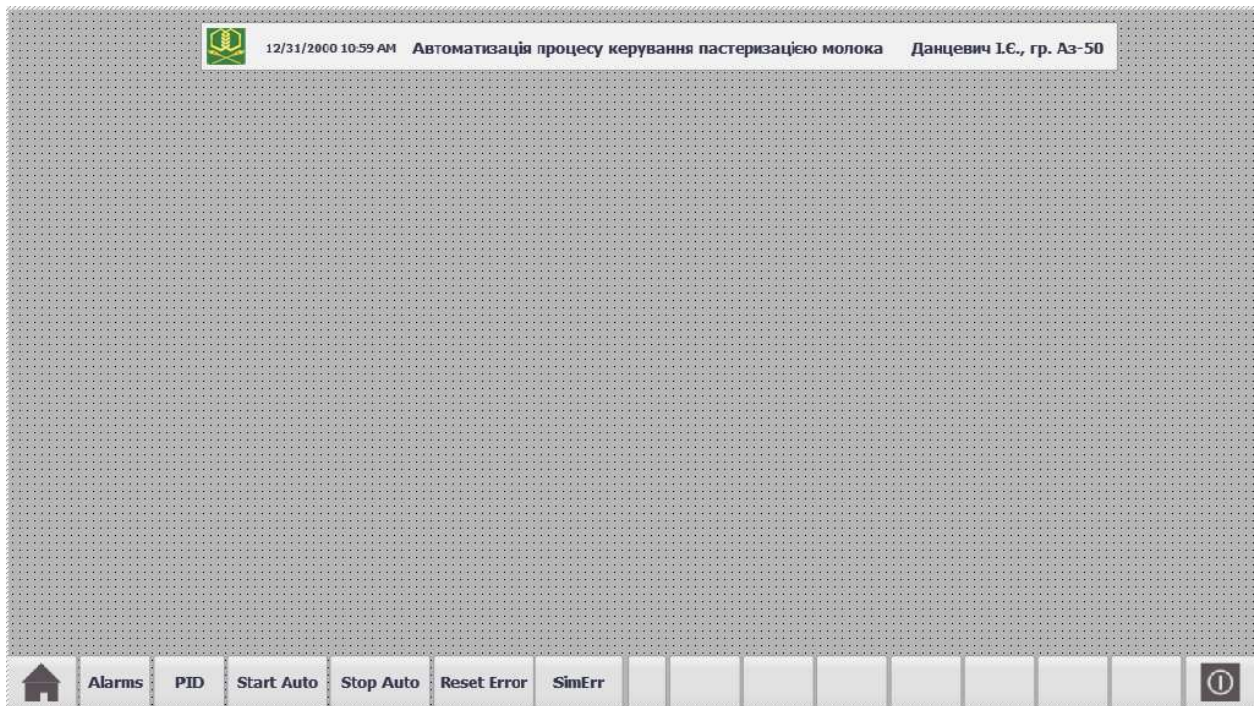


Рис. 7.4 – Загальний вигляд шаблону екранів

Меню переключення екранів складається з набору кнопок, що дозволяють виконувати перемикання між різними графічними вікнами. За допомогою миші перемістимо інструмент редагування Button із розділу Toolbox на екран шаблону. Для перемикання вікон використовуються спеціальна системна функція `ActivateScreen`, яку слід пов'язати із властивістю `Events` кожної кнопки, вказавши ім'я екрану, на який треба перемкнутися.

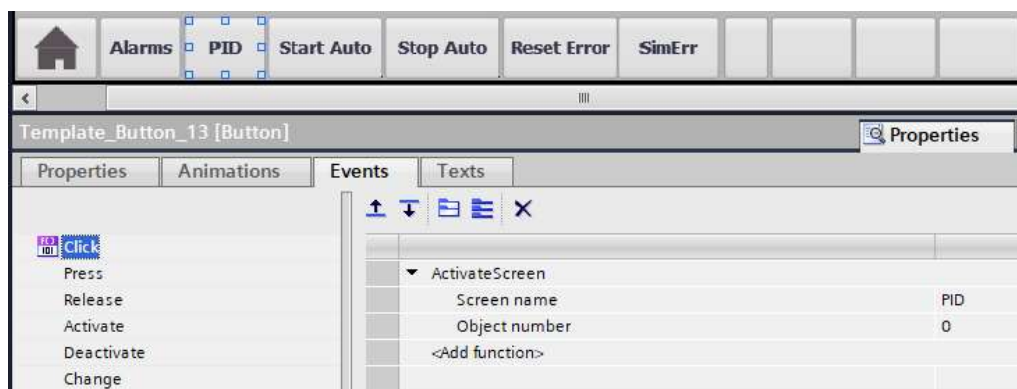


Рис. 7.5 – Приклад використання системної функції «Activate Screen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу

Щоб у оператора-технолога була можливість керувати обладнанням, для кожної одиниці обладнання спочатку за допомогою команди Add new pop-up screen створюємо пусті спливаючі вікна Pop-up screens, а потім заповнюємо їх відповідними зображеннями з розділу бібліотеки SOL (див. рис. 7.6).

У властивостях Properties кожного спливаючого вікна на вкладці Interface встановлюємо взаємозв'язок із тегом HMI, який буде забезпечувати динамізацію зображення вікна та можливість керування оператором станом електроприводів та клапанів, а також на вкладці Events вказуємо системну команду ShowPopupScreen (див. рис. 7.7).

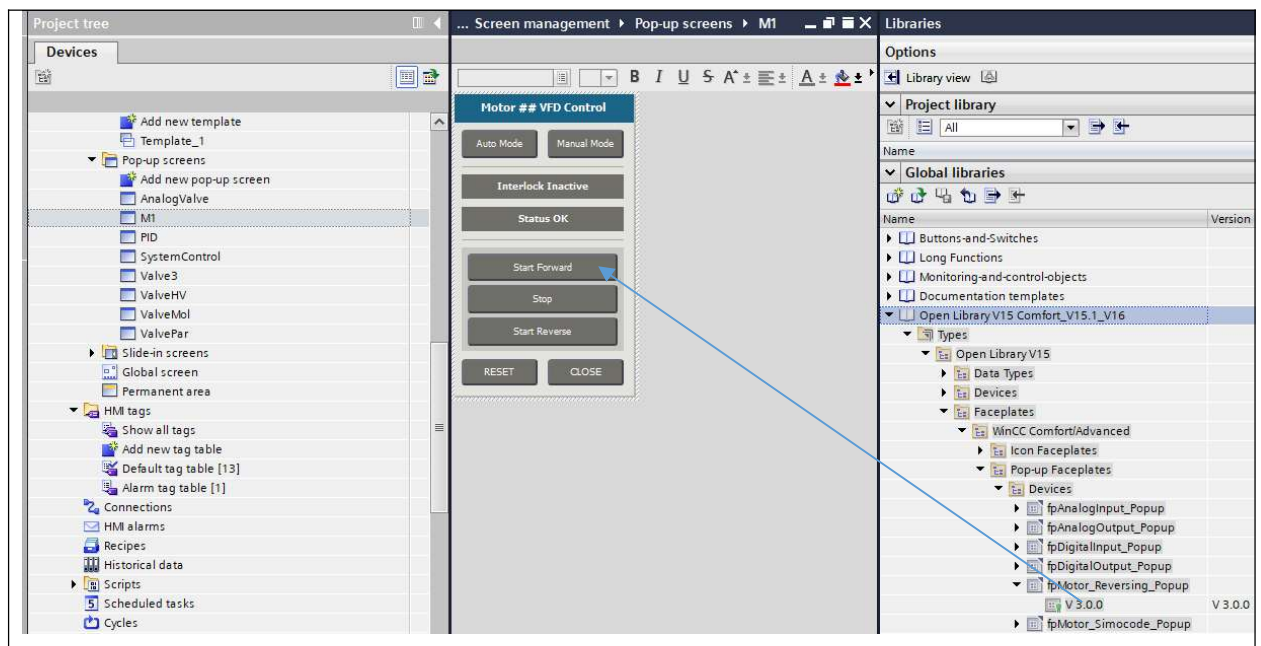
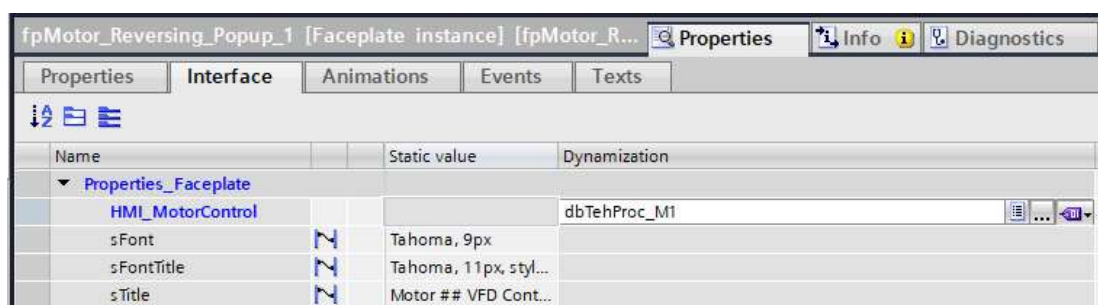


Рис. 7.6 Приклад створення спливаючих вікон для керування електроприводом



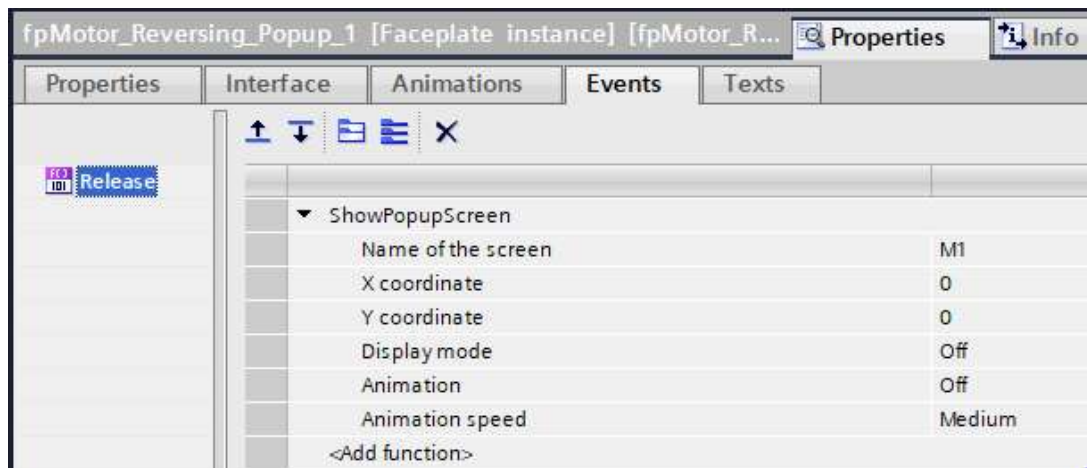


Рис. 7.7 Приклад визначення параметрів впливаючого вікна

Основний екран Process містить схематичне зображення системи вирощування дріжджів з нанесеними на нього елементами відображення і управління. Зображення створено в графічному редакторі TIA Portal з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора. Встановлені на схемі графічні елементи відображення і управління дозволять оператору контролювати стан обладнання системи і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням системи. Для цього на проекцію екрану Process переносимо за допомогою миші з відповідного розділу бібліотеки SOL піктограми обладнання.

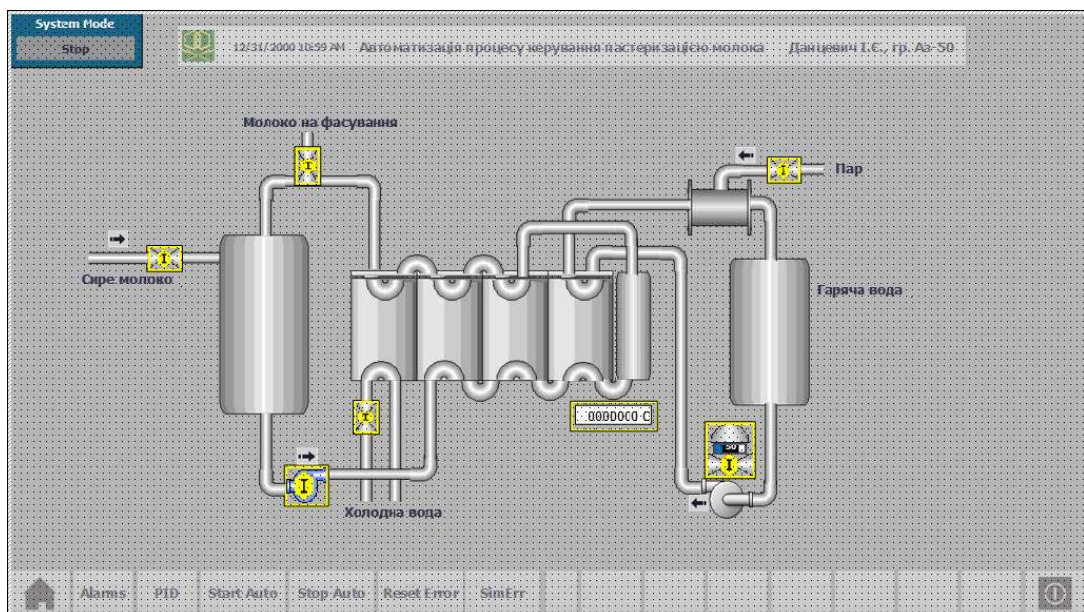


Рис. 7.8 Екран схеми установки Process

Кожну піктограму (Faceplate instance) пов'язуємо із відповідним тегом та спливаючим вікном. Натискання на зображення піктограми забезпечить відкривання зображення відповідного спливаючого вікна конкретної одиниці обладнання, оскільки у властивості Events піктограми вписано виконання системної функції ShowPopupScreen (рис. 7.9).

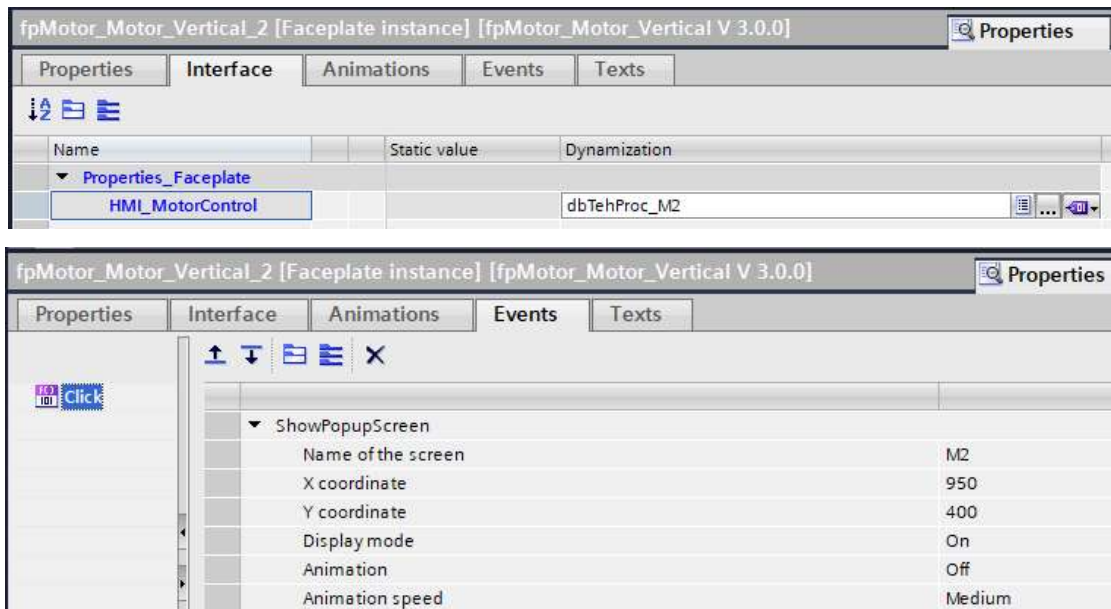


Рис. 7.9 Приклад налаштування піктограми електроприводу

Для реєстрації змін основних технологічних параметрів та налаштування параметрів ПІД-регулятора в проекті передбачений екран PID (рис. 7.10), який може бути використаний наладчиком САК.

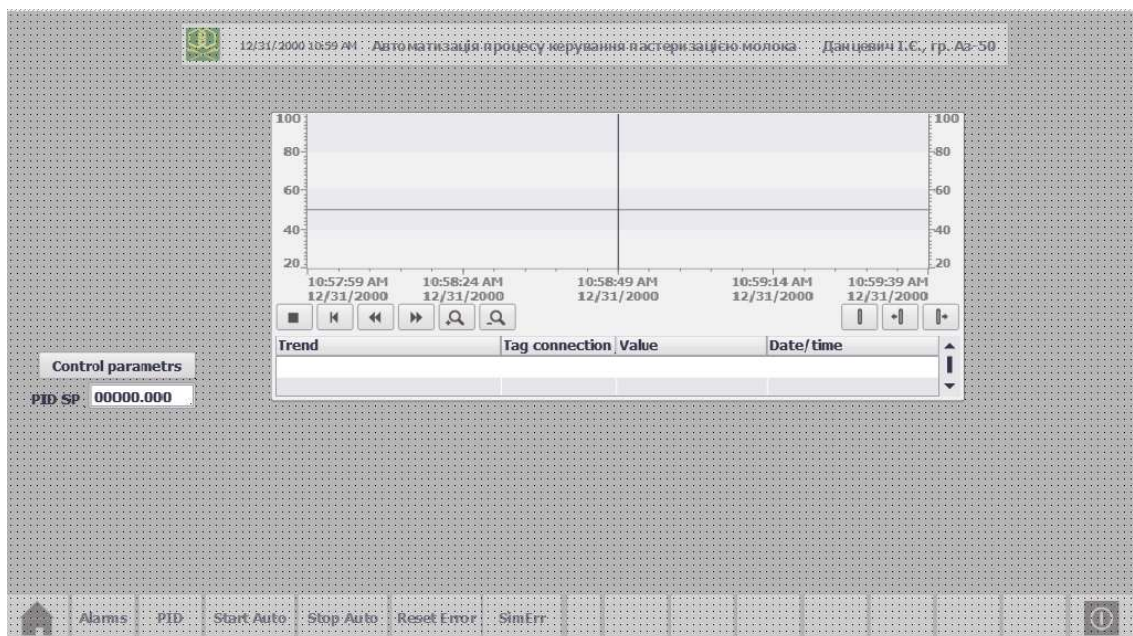


Рис. 7.10 Екран графіків

Для побудови графіків зміни температури дріжджевої суспензії в апараті використовується елемент Trend View із стандартної бібліотеки TIA Portal. Приклад його налаштування наведений на рис. 7.11.

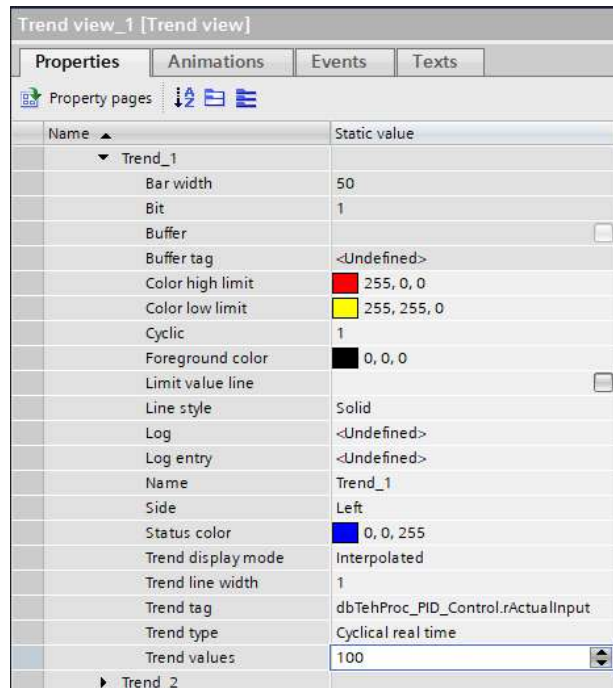
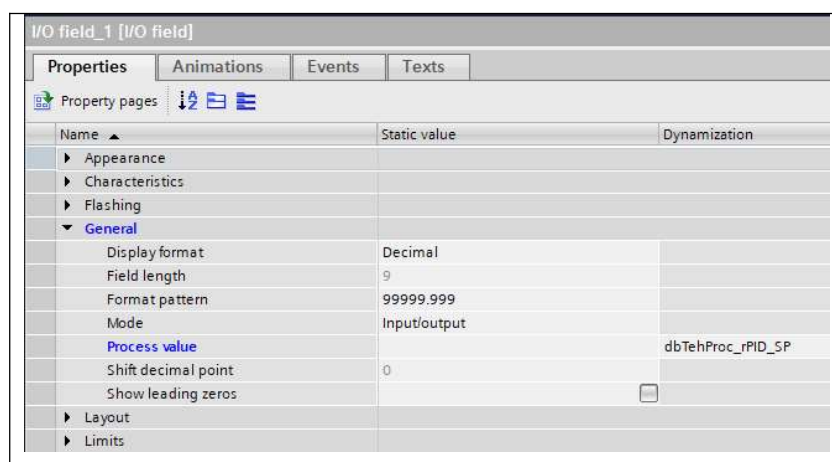


Рис. 7.11 Вікно налаштування елементу Trend

Виклик спливаючого вікна налаштування параметрів ПІД-регулятора здійснюється натисканням кнопки Control parametrs на екрані.

Змінити задане значення контуру регулювання можна за допомогою вікна вводу/виводу PID SP.

Налаштування цих елементів відображення показано на рис. 7.12.



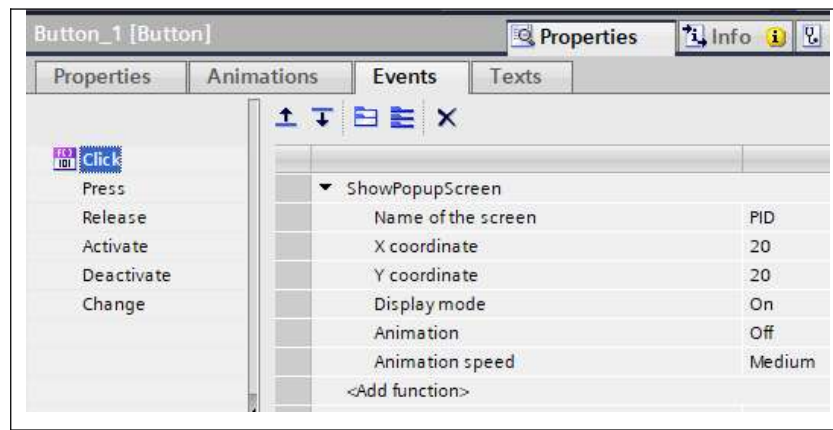


Рис. 7.12 Налаштування вікна вводу/виводу та кнопки

Для інформування оператора про передаварійний стан технологічного процесу і виникнення подій (Alarm) з обладнанням установки в проекті створена система повідомлень. Вона включає повідомлення від програми користувача і системні повідомлення операційної системи (ОС) ПЛК. Повідомлення від програми, розділяються на дискретні і аналогові і належать класам «Warnings» (попередження) і «Errors» (помилки). Повідомлення класу «Errors» інформують про критичні або небезпечні робочі стани та заносяться в архів.

В програмі користувача в ПЛК функціональні блоки, які обслуговують одиницю обладнання, формують інформацію про події в 16-бітному слові (тип Word). Кожному виду несправності відповідає певний біт. Ці слова потім збираються в програмі ПЛК в окремий блок даних dbErrors.

Далі теги з цього блоку даних пов'язуємо з 16-бітними тегами НМІ (рис. 7.13).

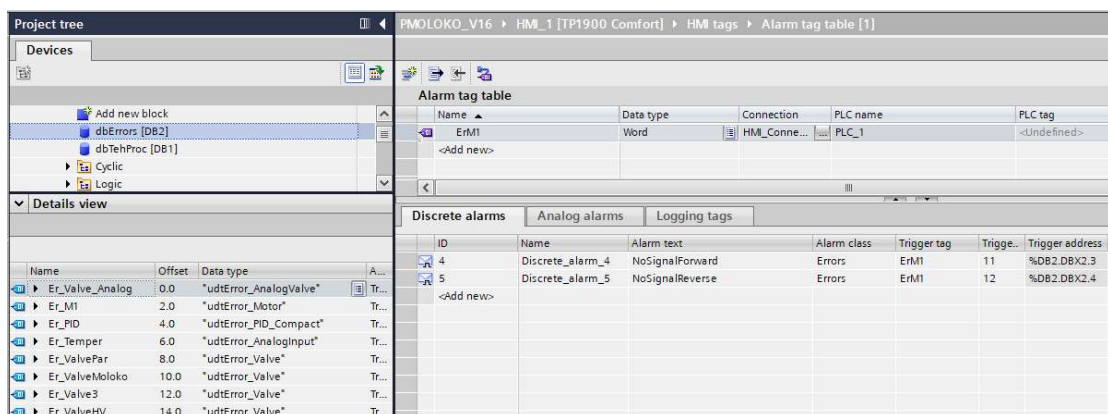


Рис. 7.13 Приклад прив'язки тегів dbErrors з НМІ-тегами

Кожний біт HMI-тега з Alarm tag table сортуємо по типам та по класам Errors або Warnings (див. рис. 7.13). Кожному з цих бітів відповідає своє повідомлення (Alarm text).

Для відображення цих повідомлень для оператора створюємо екран Alarms.

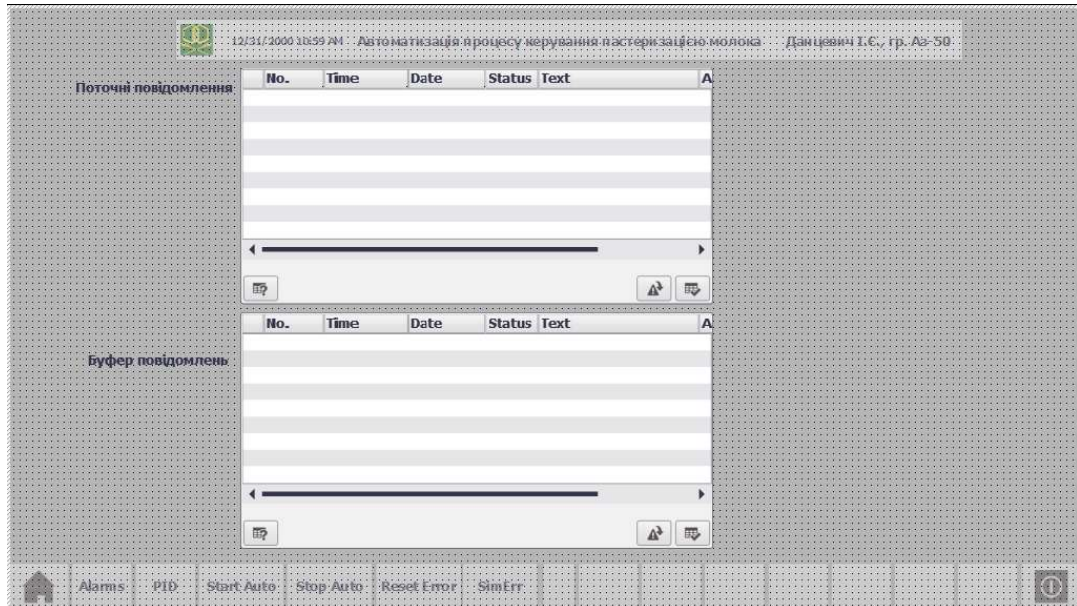


Рис. 7.14 Екран Alarms повідомлень про несправності

Вивід повідомлень на екран виконується за допомогою елемента «Alarm View», який може бути налаштований на виведення поточних активних повідомлень, вмісту буфера повідомлень, вмісту архіву повідомлень.

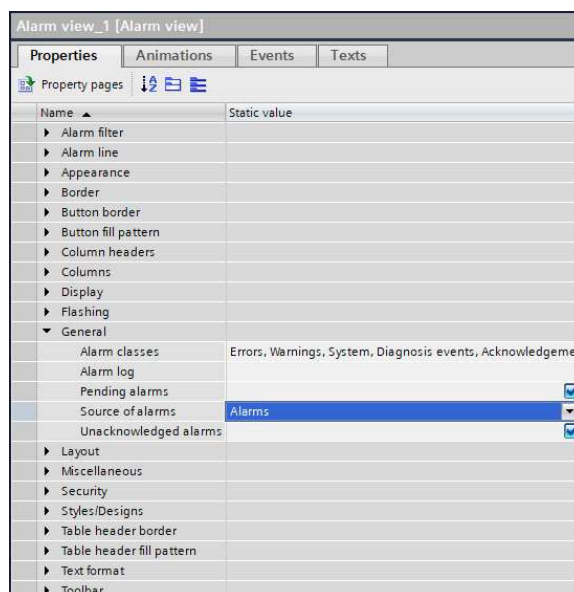


Рис. 7.15 Налаштування властивостей елемента Alarm View

При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів.

7.5 Тестування системи керування.

Тестування проведемо в режимі емуляції контролера з використанням програми S7-PLCSIM, в середовище якої завантажують частину проекту PLC_1 після його компіляції.

Відображення екранів виконується в режимі симуляції в середовищі Win CC Runtime Advanced, куди після компіляції завантажують частину проекту HMI_1.

В залежності від вимог виробництва оператор має змогу налаштувати систему на режими: стоп, ручний, автоматичний, індивідуальний.

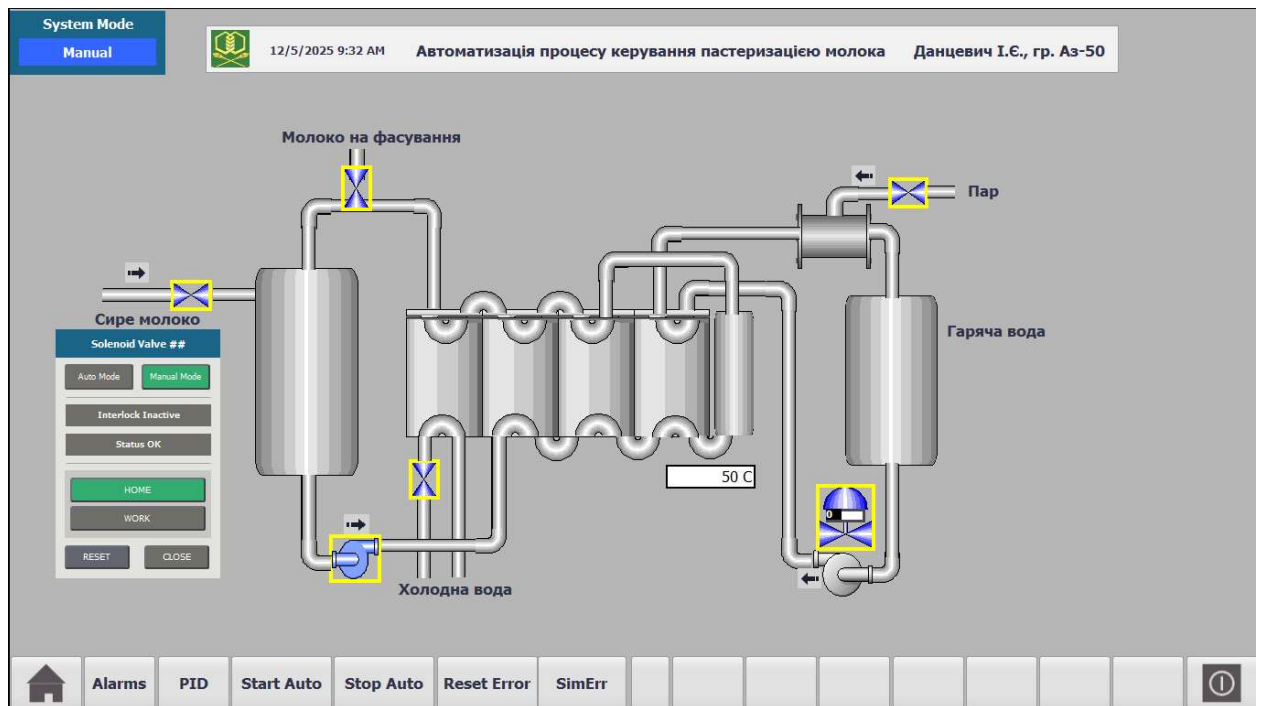


Рис. 7.16 Схема установки в ручному режимі



Рис. 7.17 Схема установки в автоматичному режимі

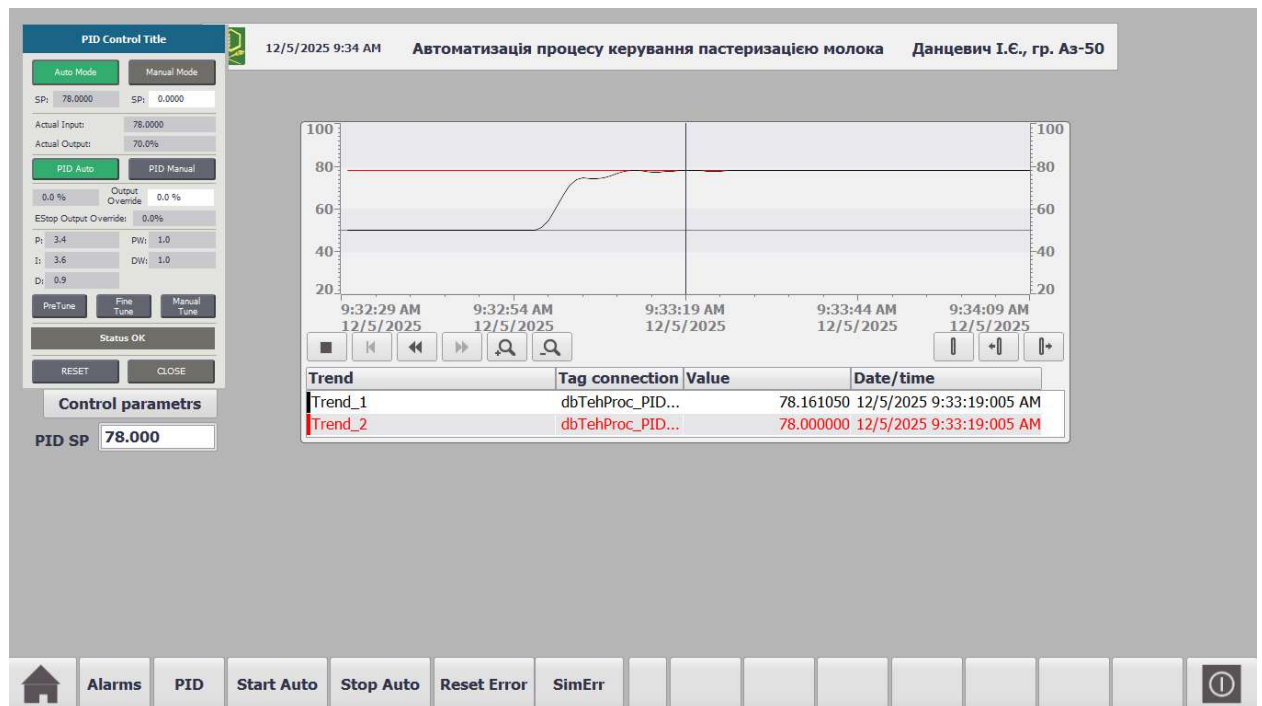


Рис. 7.18 Екран PID в тестовому режимі

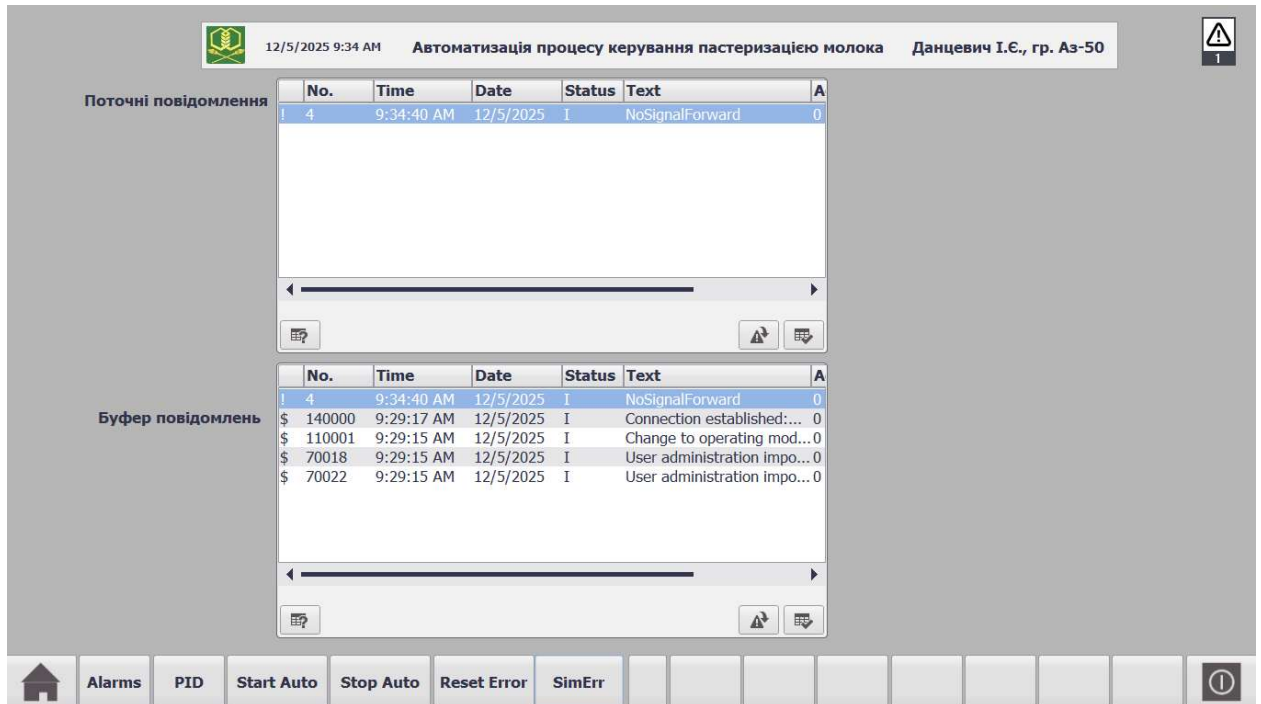


Рис. 7.19 ЕкранAlarms в тестовому режимі
при імітації несправності

Висновок: у цій частині роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом пастеризації молока. Створені екран для відображення схеми установки для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування, які може використати в своїй роботі наладчик САК.

Тестування системи в цілому продемонструвало її роботоспроможність у всіх режимах роботи.

РОЗДІЛ 8 РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САК ТА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

8.1 Опис основних технічних рішень із побудови САК та склад документації її технічного забезпечення

Основними параметром процесу пастеризації молока, на який накладено регламентні обмеження, є температура молока на виході секції пастеризації ПОУ. Підтримання температури цієї температури забезпечується за рахунок зміни витрат гарячої води, який надходить в теплообмінник і нагріває молоко, а вода у барботері, в свою чергу, нагрівається парою.

Основу інтелектуального ядра системи керування складає контролер Simatic S7-1500 та панель оператора TP 1900 Comfort.

Датчики та виконавчі механізми обирались з урахуванням степені захисту від проникнення пилу і вологи.

За результатами вибору комплексу технічних засобів й відповідно до складеної технічної структури системи керування розроблено комплект її проектної документації. Комплект включає наступні документи:

Графічні:

- 1 – схему автоматизації;
- 2 – принципову електричну схему підключення до блоку дискретних входів ПЛК;
- 3 – принципову електричну схему підключення до блоку дискретних виходів ПЛК;
- 4 – принципову електричну схему підключення до блоку аналогових входів/виходів ПЛК.

Текстові:

- попередній перелік обладнання до всіх графічних документів.

Центральний процесор CPU 1513-1 PN, що реалізує основні функції контролю та регулювання, оснащений інтерфейсом PROFINET.

Всі модулі вводу/виводу серії SIMATIC S7-1500 та CPU монтуються на профільній шині Siemens 122мм, що встановлена в шафі оператора. Вони використовуються для отримання інформації з датчиків безперервних і дискретних сигналів, а також для видачі керуючих сигналів на виконавчі механізми для підтримки регламентних значень регульованої змінної, а також передачі даних на панель оператора. CPU та модулі забезпечують виконання наступних основних функцій:

- введення, фільтрацію й нормалізацію аналогових сигналів входу та виходу (струм, напруга – модуль AI 4xU/I AQ 2x4xU/I (6ES7534-7QE00-0AB0);

- опитування стану дискретних входів та вивід дискретних сигналів (DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) та DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0)

- прийом і передачу інформації по мережі PROFINET між CPU та TP 1900 Comfort.

Взаємодія контролера і панелі оператора здійснюється по мережі PROFINET. Для керування установкою застосовується панель оператора TP1900 Comfort (6VA2 124 OUC02-0AX1), на якій встановлена система виконання SCADA WinCC Comfort, що призначена для оперативного контролю, сигналізації, реєстрації параметрів.

8.2 Розробка схеми автоматизації та специфікацій на технічні засоби системи

Схема автоматизації технологічного процесу є основним документом, що визначає функціональну структуру, обсяг автоматизації й що роз'ясняє певні процеси, що протікають у функціональних ланцюгах. Вона складена відповідно до ДСТУ Б.А. 2.4-16:2008 «Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах». Функції автоматичного регулювання й логіко-програмного керування, виконує ПЛК сумісно з панеллю оператора. Всі використані датчики вхідних сигналів обрані

з уніфікованим вихідним сигналом струмовим (4...20мА), вихідний аналоговий сигнал напруги 0...10 V DC надходить на перетворювач частоти, який змінює частоту обертів електропривода насоса подачі гарячої води.

Розглянемо перелік контурів контролю й керування, які наведені на схемі автоматизації по позиційним номерам зв'язків:

- 1 – керування та контроль стану електропривода М1;
- 2, 3 – контур регулювання температури молока на виході з секції пастеризації ПОУ за рахунок зміни частоти обертів електропривода насоса подачі гарячої води;
- 4 – контроль температури охолодженого молока;
- 5 – контроль температури гарячої води;
- 6 – контроль тиску сирого молока;
- 7 – контроль тиску пари в магістралі;
- 8 – контроль верхнього рівня молока в збірнику;
- 9 - контроль нижнього рівня молока в збірнику;
- 10 – контроль верхнього рівня води в баку;
- 11 - контроль нижнього рівня води в баку;
- 12 – керування відсічним клапаном подачі молока;
- 13 – керування відсічним клапаном подачі охолоджувальної води;
- 14 – керування триходовим клапаном молока;
- 15 – керування відсічним клапаном подачі пари;
- 16 – керування звуковою сигналізацією.

На схемі також вказана функція інтерфейсного зв'язку ПЛК панеллю оператора.

У контурі 2, 3 реалізована система регулювання температури молока на виході з секції пастеризації ПОУ. Розглянемо дію цього контуру. Від датчика температури з уніфікованим перетворювачем 2а пропорційний температурі сигнал струму 4...20 мА DC подається на вхід модуля AI 4xU/I AQ 2x4xU/I AI (SM 334). ПЛК формує керуючий вплив, який з виходу цього модуля у вигляді

напруги 0...10 V DC подається на перетворювач частоти 2б. А той, в свою чергу, змінює частоту обертів електроприводу М2.

У додатку А наведені схема автоматизації та перелік приладів та засобів, які використані в цій схемі.

8.3 Розробка принципів схем

8.3.1 На принциповій електричній схемі (ПЕС) показують елементи, які виконують певну функцію і які не можуть бути розділені на частини. Ця схема дає уявлення за допомогою графічних зображень і позначень про послідовність роботи електричних приладів й елементів для досягнення поставлених функціональних завдань. ПЕС складають відповідно до вимог Держстандартів (ДСТУ) :

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.701. ЕСКД. Схеми. Види й типи. Загальні вимоги до виконання;

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.702. ЕСКД. Правила виконання електричних схем;

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.709. ЕСКД. Система маркування ланцюгів в електричних схемах;

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.710. ЕСКД. Позначення умовні, буквено-цифрові, які вжиті на електричних схемах.

8.3.2 Розробка принципів електричних схем підключення до модулів ПЛК

Модуль дискретних входів DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) розміщується на профільній шині Siemens 122мм в шафі оператора. До його входів по кабелях W1, 2, що підключаються до клем SA-X1, подаються сигнали 0 або 24 V DC, які характеризують поточний стан апаратури керування електроприводами М1, М2, що встановлена у силовій шафі і забезпечує локальне (місцеве) керування.

Також до входів цього модуля підключені контакти реле К1,..., К4, які дозволяють контролювати стан клапанів: відсічних пари, молока і води, а також триходового клапану молока.

До цього ж модуля надходять дискретні сигнали 0 або 24 V DC, які характеризують поточний стан датчиків тиску молока (кабель W3) і пари в магістралі (кабель W4), а також стан датчиків-реле рівня молока в збірнику по кабелях W5, W6 та рівня води в баку по кабелях W7, W8.

Модуль дискретних виходів DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) розміщується на профільній шині Siemens 122мм в шафі оператора. На його виходах формуються керуючі сигнали 0 або 24 V DC, які по кабелях W1, W2, що підключаються до клем SA-X1, передаються у силову шафу в схему керування електроприводами M1, M2. Також до виходу модуля дискретних виходів підключаються проміжні реле K1, ..., K4 та дзвоник НР, який формує звуковий сигнал. Контакти проміжних реле вмикають живлення 24 V DC для відсічного клапану пари 14а по кабелю W9, виконавчих механізмів триходового 13а та відсічного 11а клапанів молока по кабелях W10, W11, а також відсічного клапану 12а охолоджувальної води по кабелю W13.

Модуль аналогових входів/виходів AI 4xU/I AQ 2x4xU/I (6ES7534-7QE00-0AB0) розміщується на профільній шині Siemens 122мм в шафі оператора. До його аналогових входів за допомогою екранованих кабелів W15, W16, W17, що під'єднуються до клем SA-X1, підключаються датчики з уніфікованим виходом 4...20 mA DC відповідно: датчик температури пастеризованого молока 2а, датчик температури охолодженого молока 3а та датчик температури гарячої води 4а.

Аналогові виходи модуля AI 4xU/I AQ 2x4xU/I за допомогою кабелю W18, що підключаються до клем SA-X1, передає сигнал керування на перетворювач частоти.

У додатку Б наведені ПЕС підключення до модулів ПЛК та перелік приладів, що в ній використані.

8.4 Охорона праці

У цьому підрозділі будемо виявляти потенційно небезпечні та шкідливі фактори, які можуть виникнути під час експлуатації установки. Представимо

їх гранично допустимі концентрації з посиланням на відповідні нормативні акти, та опишемо наслідки їх впливу. Інформацію узагальнимо у таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
1.	Підвищена або знижена температура повітря робочої зони	21-24 °С	Стан втоми, перегрів або переохолодження організму
2.	Підвищена або знижена рухливість повітря	0,2-0,4 м/с	Простудні захворювання, перегрів організму
3.	Підвищена або знижена вологість повітря	65-75%	Ревматичні, алергічні, захворювання
4.	Недостатня освітленість робочої зони	КПО -1,2%,Е – 200 лк.	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
5.	Підвищений рівень шуму на робочому місці	80 дБА	Захворювання органів слуху
6.	Підвищений рівень вібрації на робочому місці	0,028 м/с x 10 ⁻² /75дБ (загальна вібрація); 2 м/с x 10 ⁻² /112 дБ (локальна вібрація)	Захворювання нервової системи

7.	Статичні перевантаження	-	Стан втоми
8.	Прямий і відбитий відблиск монітора	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
9.	Знижена контрастність	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
10.	Підвищений рівень електромагніт-ного випромінювання	10 Вт/м ²	Біохімічні зміни в організмі
11.	Підвищений рівень іонізації повітря	n+: 1500-3000 одиниць/см ³ ; n-: 3000-5000 одиниць/см ³	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання
№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
12.	Канцерогенні, токсичні, мутагенні речовини (озон, оксид азоту, оксид вуглецю, толуол, ксилол, бензол, ізооктан тощо.)	Озон - 0,1 мг/м ³ ; оксид азоту – 5 мг/м ³ ; бензол – 15/5 мг/м ³ ; ксилол – 50 мг/м ³ ; толуол – 50 мг/м ³ ; оксид вуглецю – 20 мг/м ³ .	Біохімічні зміни в організмі
13.	Мікроорганізми	-	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання

14.	Локальні перенавантаження м'язів кистей рук	-	Тунельний синдром
15.	Монотонність праці	-	Стан втоми, головний біль

Класифікація приміщень об'єкту автоматизації була встановлена у розділі 5.

Робоче місце оператора автоматизованої системи передбачає використання панелі оператора, за допомогою якої оператор може спостерігати за роботою установки та керувати нею у дистанційному або автоматичному режимі. На екрані панелі всі прилади установки мають свої символічні позначення та можуть змінювати колір у разі зміни стану. У разі аварії чи блокування установки, інженер може швидко виявити місце події та усунути проблему. Оскільки робоче місце оператора розташоване у приміщенні, всі елементи робочого місця відповідають наступним вимогам:

- площа одного робочого місця становить 10,0 м², об'єм - 25,0 м³; норматив: площа – 6,0 м², об'єм - 20,0 м³.
- інженер сидить за стандартним столом на комфортному кріслі;
- на ЖК-моніторі відображається вся необхідна інформація;
- трудові операції виконуються лише на робочому місці;
- робоче місце має добре освітлення, вікно знаходиться з правого боку, а на столі розміщено світильник. Визначимо категорію робіт за ступенем важкості. Оператор АРМ працює у сидячому положенні, що пов'язане з постійним спостереженням (див. таблицю 8.2).

Таблиця 8.2 – Виробниче приміщення, період року, категорія роботи, що виконується, температура, відносна вологість, швидкість руху повітря

№ п.п	Найменування виробничого приміщення	Період року	Категорія роботи, що виконується	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
1	Операторський пункт	Теплий	Легка 1а	23-25	40-60	0,1
№ п.п	Найменування виробничого приміщення	Період року	Категорія роботи, що виконується	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
2	Операторський пункт	Холодний	Легка 1а	23-25	40-60	0,1

Зорову роботу, яку на АРМ виконує оператор , відповідає наступним розрядам: Б-2 (робота з дисплеєм), А-2 (робота з документами). Забезпечення нормованих значень КПО та освітлення на АРМ оператор досягається за рахунок:

- бокового одностороннього розташування вікон;
- фарбування стелі та стін приміщення у світлі кольори;
- планове очищення скла віконних проїомів;
- застосування систем комбінованого освітлення.

Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення наведені у таблиці 8.3

Таблиця 8.3 – Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення

№	Виробниче приміщення	Вид освітлення	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд та підрозряд зорової роботи	КПО, %	Освітленість, лк
1	Операторський пункт	Бічне, одностороннє	0,30-0,5	Б-2	1	400

На кожному технологічному об'єкті необхідно мати затверджені робочі експлуатаційні інструкції, а також виконавчі схеми електричних і трубних з'єднань обладнання для забезпечення його нормальної експлуатації. Перелік таких інструкцій і схем підтверджує головний інженер підприємства. Забороняється запуск і експлуатація технологічного та енергетичного обладнання з несправними або відключеними КВПіА, системою технологічної захисту і пристроями, необхідними для автоматизованої експлуатації обладнання. Під час запуску та зупинки обладнання в ручному режимі слід відстежувати виконання відповідних операцій за показниками контрольно-вимірювальних приладів. У разі порушення встановленої послідовності або тривалості операцій, а також відхилення параметрів від заданих, необхідно негайно зупинити обладнання і повернути його в початковий стан.

Реле, пристрої захисту, засоби технологічної автоматики та прилади, які контролюють роботу обладнання, повинні бути опломбовані. Під час будь-яких робіт на панелях, щитах та електроавтоматиці, коли основне обладнання включено, необхідно дотримуватися заходів обережності, щоб уникнути помилкових дій через людські помилки. Виконання таких робіт без виконавчих схем (по пам'яті) або без відповідних обсягів і послідовностей операцій є забороненим. Після проведення робіт у вторинних ланцюгах необхідно перевірити їх справність та правильність підключення шляхом перевірки пристрою (схеми) безпосередньо або за допомогою тестування.

Забезпечення безпеки персоналу, який обслуговує обладнання, а також сторонніх осіб вимагає використання належної ізоляції, дотримання відповідних відстаней до струмоведучих частин або їх захисного огороження, а також застосування блокування апаратів, заземлення або занулення корпусів електроустаткування та елементів електроустановок, які можуть бути під напругою внаслідок пошкодження ізоляції. Монтажні та ремонтні роботи у електричних мережах та пристроях, а також роботи з приєднання та від'єднання проводів, мають проводитися лише при відключенні напруги. Засоби автоматизації, які перебувають під напругою або можуть бути підключені до неї у будь-який момент, вважаються активними електроустановками і підлягають відповідним правилам техніки безпеки. Для робіт у електроустановках напругою $\sim 220\text{В}$ / $\sim 380\text{В}$ широко застосовуються ізольовані ручки слюсарно-монтажного інструменту, такі як викрутки, кліщі, плоскогубці тощо. Додатковими засобами захисту є діелектричні рукавички, калоші та килими.

Роботу з очищення та змащення рухомих частин, а також ремонт чи заміну окремих деталей машин і механізмів без їх зупинки заборонено. Всі датчики мають бути справними, з чітким клеймом, що вказує на дату останньої перевірки, та опломбованими. Ремонтні роботи на апаратах і комунікаціях, що перебувають під тиском або наповнені робочими газами, парою, рідинами тощо, заборонені під час їх робочого або холостого ходу.

Перед проведенням ремонту обладнання, механізмів, що зчеплені з електродвигунами, необхідно розробити електричну схему та встановити попереджувальний плакат "Не включати, працюють люди!". Також переконайтеся у наявності заглушок на вході та виході газу або рідини з обладнання та комунікацій перед початком робіт. Заглушки мають бути оснащені хвостиками для покращеного видимості. Запобіжники у пристроях автоматики слід видаляти тільки при відключеному живленні. Кожен працівник повинен пам'ятати про небезпеку електричного струму для життя: сила струму $0,1\text{А}$ є смертельною для людини.

Металеві неструмоведучі частини електрообладнання, які можуть опинитися під напругою у разі несправності та можуть бути доступні для дотику людей, підлягають захисному заземленню. У приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних, а також на вулиці, заземлення є обов'язковим при напрузі вище 36 В змінного струму та 110 В постійного струму. При напрузі 500 В і вище, як у випадку змінного, так і постійного струму, заземлення обов'язкове в усіх ситуаціях, а в вибухонебезпечних приміщеннях — незалежно від рівня напруги.

Згідно з типовими правилами пожежної безпеки, відповідальність за організацію пожежної безпеки покладається на керівників об'єктів, які зобов'язані:

- забезпечити вивчення та виконання типових правил всіма працівниками підприємства;

- проводити інструктаж з протипожежної безпеки та заняття з пожежно-технічного мінімуму;

- встановлювати суворий протипожежний режим у всіх приміщеннях підприємства та контролювати його дотримання;

періодично перевіряти стан пожежної безпеки об'єкта та наявність та справність пожежогасних засобів.

Пожежну безпеку окремих підрозділів підприємства (таких як цехи, лабораторії, майстерні, склади тощо) забезпечують безпосередні керівники, які зобов'язані:

- Забезпечувати дотримання встановленого протипожежного режиму на підпорядкованих їм ділянках.

- Підтримувати справність виробничого обладнання та вживати негайних заходів для усунення несправностей, які можуть призвести до пожежі.

- Контролювати, щоб після закінчення роботи підпорядковані ділянки були прибрані від спалених відходів та електроприймачі були відключені.

Забезпечувати постійну готовність до застосування засобів пожежогасіння, зв'язку та сигналізації.

Всі працівники та службовці промислових підприємств проходять спеціальну пожежну підготовку, яка включає в себе протипожежний інструктаж (первинний і повторний) та заняття з пожежно-технічного мінімуму, проведені за спеціальною програмою

Для кожного цеху, майстерні та інших об'єктів необхідно розробити протипожежні інструкції, які будуть погоджені з пожежною охороною підприємства або місцевими органами державної пожежної охорони. Ці інструкції визначають місця та порядок утримання засобів пожежогасіння, пожежної сигналізації і зв'язку, а також обов'язки працівників у разі виникнення пожежі, правила виклику пожежної команди та процедури зупинки та відключення устаткування.

У приміщеннях і на території підприємства, зазвичай, дозволяється куріння лише на спеціально відведених для цього місцях. Заборонено використовувати відкритий вогонь (такий як паяльні лампи, факели тощо) для обігрівання трубопроводів, що містять замерзлі або застигли рідини. Заборонено блокувати доступ до технологічного устаткування, засобів зв'язку та пожежогасіння, а також до проходів і виходів з приміщень.

На кожному об'єкті повинні бути розміщені схеми пожежного водопроводу, на яких вказані місця встановлення пожежних кранів і гідрантів. Ці місця повинні бути позначені спеціальними значками і написами "ПК" і "ПГ"

На підприємствах встановлюється система електричної пожежної сигналізації, яка має на меті оперативно повідомляти службу пожежного захисту про виникнення пожеж у будь-якому приміщенні або спорудженні підприємства. Особливо небезпечні виробництва обов'язково оснащуються автоматичними системами пожежогасіння, такими як пінна, водяна або порошкова.

Загальні висновки розділу:

Під час виконання цього розділу був розроблений набір технічної документації для системи автоматизації керування пастеризацією молока в ПОУ на основі контролера Siemens SIMATIC S7-1500.

Розроблений набір включає основні документи технічного забезпечення для системи автоматизації керування пастеризацією молока в ПОУ. Під час виконання цього завдання були отримані навички розробки технічної документації для систем автоматизації з використанням ПЛК та сучасних пристроїв автоматизації.

Також у рамках цього розділу були опрацьовані основні аспекти з охорони праці під час експлуатації системи автоматичного керування процесом.

ВИСНОВКИ

1. Подальше підвищення економічної ефективності пастеризації молока засобами автоматичного керування пов'язані із створення системи автоматичного регулювання підвищеної динамічної точності, реалізацією алгоритмів логічного керування пуску і зупинки пастеризатора та розробки автоматизованого робочого місця оператора-технолога

2. Пастеризатор молока по каналу керування має властивість до самовирівнювання. В результаті активного експерименту отримані моделі пастеризатора як об'єкту керування у вигляді передатних функцій 1-го та 2-го порядків. Оскільки модель 2-го порядку більш точно відображає динамічні властивості реального ОК, то в подальшому при моделюванні систем регулювання будемо використовувати лише її.

3. В роботі були побудовані САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності. За результатами аналізу прямих і інтегральних показників якості роботи САР ПДТ незаперечні переваги. Тому таку САР можна рекомендувати для подальшого використання на практиці

4. В роботі було розроблено алгоритми логічного керування пуском, нормальною та аварійною зупинкою ділянки пастеризації молока. Розроблені алгоритми є доступними до реалізації на мікропроцесорних засобах автоматизації.

5. В роботі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити керування пастеризацією молока в ПОУ. Класи точності, ступінь захисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Виходи датчиків та входи виконавчих механізмів сумісні з входами/виходами ПЛК. Мікропроцесорне ядро системи керування побудоване за централізованою схемою із використанням ПЛК SIMATIC S7-1500 та панелі оператора TP1900 Comfort, об'єднаних по мережі Profinet, що забезпечує можливість подальшого розвитку системи

6. Для реалізації системи керування були визначені процесор та блоки вводу виводу фірми Siemens сімейства S7-1500, проведено їх конфігурування.

Розроблені програми логічного керування технічними засобами ПОУ та регулювання температури пастеризації молока із використанням бібліотечних функціональних блоків. Проведено тестування цих програм, яке засвідчило їх відповідність алгоритмам, що були створені в попередніх розділах

7. Був розроблений інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом пастеризації молока. Створені екран для відображення схеми установки для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування, які може використати в своїй роботі наладчик САК. Тестування системи в цілому продемонструвало її роботоспроможність у всіх режимах роботи.

8. В роботі був розроблений набір технічної документації для системи автоматизації керування пастеризацією молока в ПОУ на основі контролера Siemens SIMATIC S7-1500. Розроблений набір включає основні документи технічного забезпечення для системи автоматизації керування пастеризацією молока в ПОУ. Під час виконання цього завдання були отримані навички розробки технічної документації для систем автоматизації з використанням ПЛК та сучасних пристроїв автоматизації. Також у рамках цього розділу були опрацьовані основні аспекти з охорони праці під час експлуатації системи автоматичного керування процесом

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

2. Хобін В. А. Конспект лекцій з курсу "Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів" [Електронний ресурс] : для студентів, які навчаються за спец. 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навчання / В. А. Хобін ; відп. за вип. В. А. Хобін ; Каф. автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем. — Одеса : ОНАХТ, 2016. — Електрон. текст. дан.: 96 с.

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnv.BibRecord.157312>

3. Хобін В.А., Світий І.М. Теорія автоматичного керування: Посібник до виконання комплексної курсової роботи. Одеська національна академія харчових технологій, 2020. – 277 с.

4. Муратов В. Г. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади [Текст] : навч. посіб./ В. Г. Муратов. — Вид. 2-ге, допов. — Київ : Освіта України, 2016. — 364 с.

<https://elc.library.onaft.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТcnv.BibRecord.155904>

5. Савицький, В. К. Технічні засоби автоматизації [Текст]: навч. посіб. /В.К. Савицький, Р.М. Федоришин; Нац. ун-т "Львівська політехніка". — Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2018. - 292 с.

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentSearchResult?jsessionid=6CD40B15F14DD9265BF7FD9A559C892C>

6. Левінський В. М. Конспект курсу лекцій з курсу "Технічні засоби автоматизації". Розділ "Виконавчі пристрої" [Електронний ресурс] : для студентів спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навчання / В. М. Левінський, М. В. Левінський ; відп. за вип. В. А. Хобін ; Каф. автоматизації технологічних процесів і робототехн. систем. — Одеса : ОНАХТ, 2018. — Електрон. текст. дані: 150 с.

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnv.BibRecord.162866>

7. Левінський В. М. Основи створення проектів автоматизації в середовищі ТІАPortal [Електронний ресурс] : електрон. навч. посіб. для підгот. студентів спец. "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" / В. М. Левінський, М. В. Левінський ; Одес. нац. акад. харч. технологій. — Одеса : ОНАХТ, 2019. — Електрон. текст. дані: 177 с.

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnv.BibRecord.166190>

8. Пупена О.М., Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/HMI. : Навч. посіб. Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. — 594 с.

9. Пупена О.М, Ельперін І.В., Луцька Н.М., Ладанюк А.П. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник. – К. : Вид-во "Ліра-К", 2011. – 552 с.

10. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студ. напряму 6050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання. – К.: НУХТ, 2011. – 68 с.

11. ANSI/ISA-101.01-2015, Human Machine Interfaces for Process Automation Systems Copyright: 2015 Length: 64 pages

12. Автоматизація виробничих процесів [Текст] : підручник / І. В. Ельперін, О. М. Пупена, В. М. Сідлецький, С. М. Швед ; Нац. ун-т харч. технологій. — Вид. 2-ге, випр. — Київ : Ліра-К, 2017. — 378 с. — Бібліогр.: с. 376-377.

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHNT.1739079>

13. Трегуб Віктор Григорович Проектування систем автоматизації [Текст] : навч. посіб. / В. Г. Трегуб ; Нац. ун-т харч. технологій. — Київ : Ліра-К, 2017. — 344 с. : табл., рис. — Бібліогр.: с. 341.

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-/DocumentDescription?docid=OdONAHNT-cnv.BibRecord.161435>

13. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці : конспект лекцій [Електронний ресурс] / О. О. Фесенко, В. М. Лисюк, С. М. Неменуца, З. М. Сахарова ; Каф. безпеки життєдіяльності. — Одеса : ОНАХТ, 2021. — Електрон. текст. дані: 149 с.

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHNT.1739079>

14. Методичні вказівки до економічної складової кваліфікаційної роботи бакалаврів за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» /Укладачі д.е.н., проф. Савенко І.І., к.е.н., доц. Корсікова Н.М., Одеса: ОНТУ, 2022. 10 с.

15. Національний стандарт України «Автоматизація технологічних процесів. зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах» ДСТУ Б А.2.4-16:2008.

<http://www.tsatu.edu.ua/ettp/wp-content/uploads/sites/25/11-dstu-b-a.2.4-16-2008.pdf>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А Документація до схеми автоматизації

Таблиця А – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
2а, 3а, 4а	Датчик температури Omnigrad T TST487 термоперетворювач опору (Pt100) фірми Е+Н. 3 аналоговим виходом 4-20 мА. жив.24В, ступінь захисту IP 68	3	
2б	Перетворювач частоти SINAMICS G120P 0,75 кВт 3-ф/380	1	
5а, 6а	Реле тиску RT 110L, степінь захисту IP54, маркування вибухозахисту 1ExdeibIICT5X	2	
7а, 8а, 9а, 10а	Датчики-реле рівня DLS-27-31, тип PNP	4	
11а, 12а	Відсічний клапан Belimo R432 з електроприводом Belimo NRQ24A, сигнал керування 0-20 VDC, час повного ходу 9 с	2	
13а	Триходовий клапан Belimo R532 з електроприводом Belimo NRQ24A, сигнал керування 0-20 VDC, час повного ходу 9 с	1	
14а	Відсічний клапан ODE 21X3KT190 з електромагнітним приводом 24VDC	1	
НА	Дзвоник електричний, живл. 24 V DC	1	
	<u>Прилади у шафі оператора</u>		
ПЛК	Контролер програмований SIMATIC S7-1500, CPU 1516-3 PN/DP (6ES7516-3AN01-0AB0)	1	
	Модуль дискретного вводу DI 16x24VDC BA 6ES7 521-1BH10-0AA0	1	16 DI
	Модуль дискретного виводу DQ 16x24VDC/0.5A BA 6ES7 522-1BH10-0AA0	1	16DO
	Модуль аналогового вводу виводу DQ 16x24VDC/0.5A BA 6ES7 522-1BH10-0AA0		4 AI/2AQ
ПО	Панель оператора TP1900 Comfort 6VA2 124 OUC02-0AX1	1	

ДОДАТОК Б Документація до принципової електричної схеми

Таблиця Б – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми

Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>DI</u>		
	Модуль дискретного вводу DI 16x24VDC BA 6ES7 521-1BH10-0AA0	1	
7a	Реле тиску RT 110L, степінь захисту IP54, маркування вибухозахисту 1ExdeibIICT5X	1	
7a, 8a, 9a, 10a	Датчики-реле рівня DLS-27-31, тип PNP	4	
	<u>DO</u>		
	Модуль дискретного виводу DQ 16x24VDC/0.5A BA 6ES7 522-1BH10-0AA0	1	
F2	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
K1, K2, K3, K4	Проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24B DC, 6A, LED (RXM4AB2BDPVS)	4	
11a, 12a, 13a	Електропривод Belimo NRQ24A, сигнал керування 0-20 VDC, час повного ходу 9 с	3	
14a	Відсічний клапан ODE 21X3KT190 з електромагнітним приводом 24VDC	1	
HA	Дзвоник електричний, живл. 24 V DC	1	
	<u>AI/AQ</u>		
	Модуль аналогового вводу виводу DQ 16x24VDC/0.5A BA 6ES7 522-1BH10-0AA0	1	
2a, 3a, 4a	Датчик температури Omnigrad T TST487 термоперетворювач опору (Pt100) фірми Е+Н. З аналоговим виходом 4-20 мА. жив.24В, ступінь захисту IP 68	3	

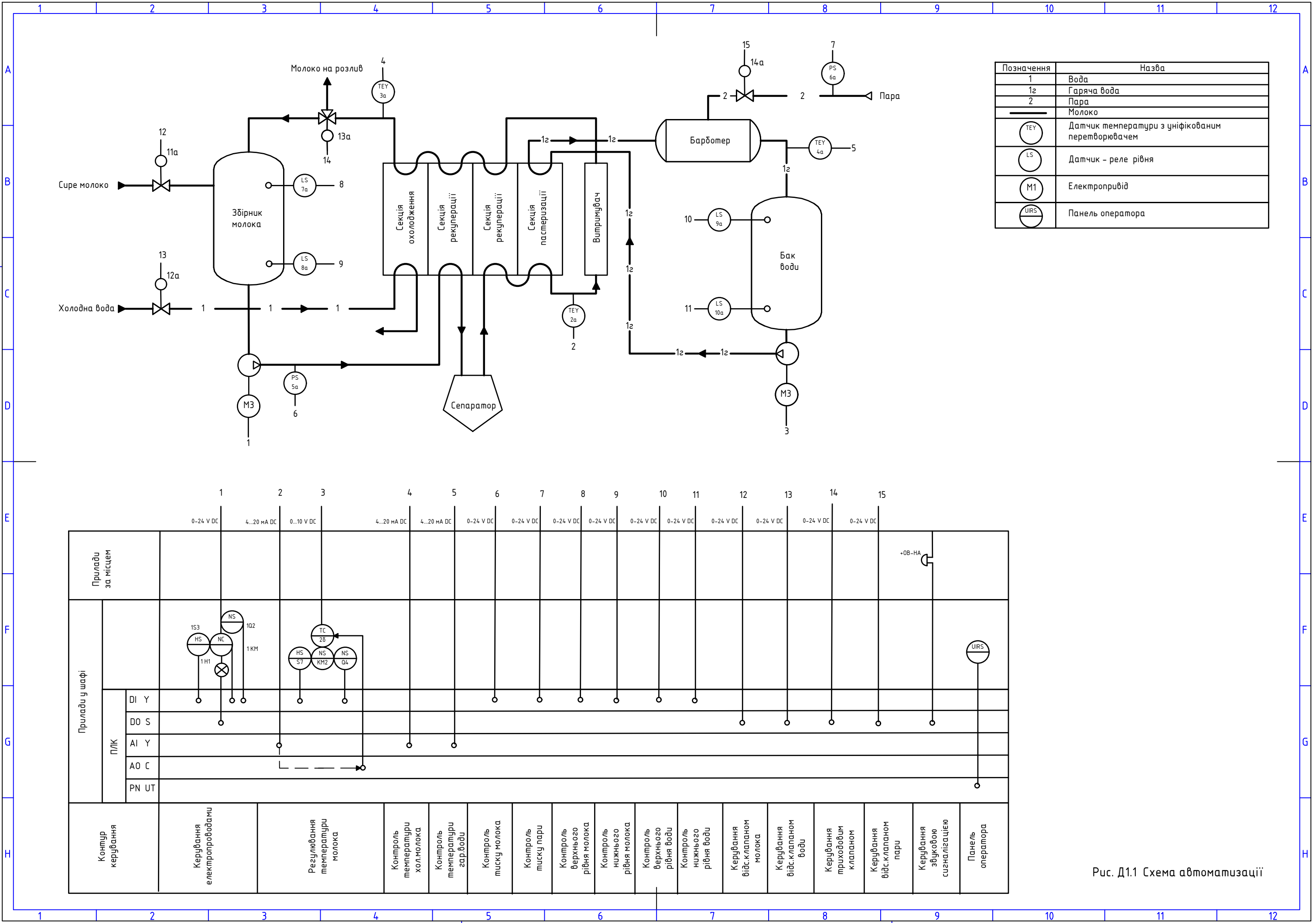
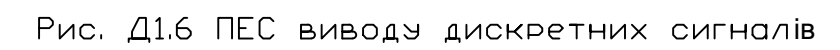


Рис. Д1.1 Схема автоматизації



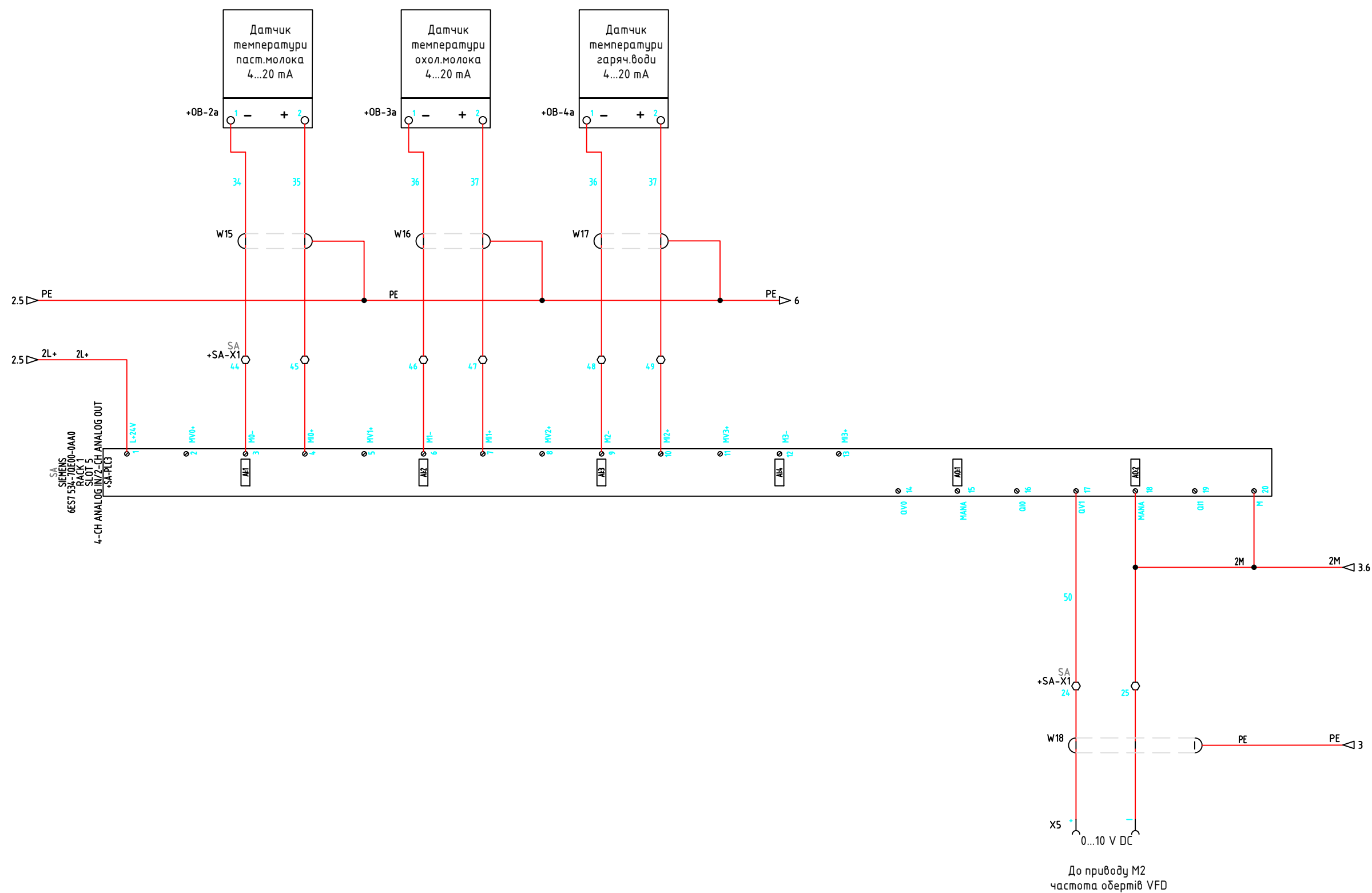


Рис. Д1.7 ПЕС вводу/виводу аналогових сигналів