

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



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему: «Автоматизація процесу керування прийманням молока»

Здобувач: В.А. Ковбасюк
4 курс, група А-41

Керівник: доцент О.М. Жигайло

Консультанти:

доцент І.М. Світий
доцент О.В. Мазур
доцент В.М. Левінський

Кваліфікаційна робота допускається до захисту.

Рішення кафедри від _____.2026 р., протокол № ____.

Завідувач кафедри АТЕіРС _____ О.М. Жигайло
(підпис)

Одеса – 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	<u>Навчально-науковий інститут комп'ютерної інженерії, автоматизації, робототехніки та програмування</u> .
Кафедра	<u>ім. П.М. Платонова</u> .
Ступінь вищої освіти	<u>Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем</u> .
Спеціальність	<u>Бакалавр</u> .
Освітньо-професійна програма	<u>151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології</u> .
	<u>Штучний інтелект і автоматизація робототехнічних систем</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри АТПіРС
І.М. Світій

«5» січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувач Ковбасюк В'ячеслав Андрійович

1. Тема роботи «Автоматизація процесу керування прийманням молока»
2. Керівники кваліфікаційної роботи: Жигайло Олексій Михайлович, к.т.н., доцент, Дец Дмитро Васильович, ст. викладач
Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 743-03 від 31.12.2025 р.
3. Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи на кафедру «12» червня 2026 р.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт, комплексне кваліфікаційне завдання (для заочників).
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. Розробка концептуальної моделі об'єкта управління, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання.
Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів автоматичного регулювання, порівняльний аналіз САР.
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів автоматичного логічного керування технологічною ділянкою.
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 логічного керування та регулювання 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.
Розділ 9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Номер розділу	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Жигайло О.М., доц.каф.АТПіРС		
Розділи 2, 3	Жигайло О.М., доц.каф.АТПіРС		
Розділ 4	Святий І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 5	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 6	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 7	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 9			

7. Дата видачі завдання « 09 » січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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.	
Розділ 9	«27» травня 2026 р.	

Здобувач Ковбасюк В.А.

Керівники роботи: Жигайло О.М.
Дец Д.В.

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 Ковбасюк В.А.

Прізвище, ініціали

Підпис

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра Ковбасюка В'ячеслава Андрійовича «Автоматизація процесу керування лінії приймання молока» викладена на 172 сторінках, число таблиць - 23, рисунків – 126, додатків - 2, джерел з переліку посилань - 8.

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

Об'єкт розробки – система автоматичного керування процесом лінії приймання молока».

Мета роботи – підвищення техніко-економічних та екологічних показників функціонування керування лінією приймання молока», які досягаються за рахунок підвищення динамічної точності контурів САК,.

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

Отримані результати – Був виконаний синтез і аналіз САК простої структури і САК підвищеної динамічної точності (ПДТ), в якій, за рахунок застосування коригуючих зв'язків, досягається підвищення показників роботи САК. Проведена розробка контролерно-комп'ютерної мережі, яка реалізує САК, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК. Була розроблена SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК. Також, було проведено попереднє обґрунтування економічної доцільності реалізації проекту.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. Характеристика керування технологічним процесом приймання молока, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом	9
1.1 Короткий опис підприємства, характеристика виробничої і господарської діяльності	9
1.2 Узагальнена характеристика технологічних процесів підприємства та рівня його автоматизації	10
1.3 Вибір об'єкту для модернізації системи автоматизації, опис та аналіз реалізованого ним технологічного процесу та відповідного обладнання	12
1.4 Аналіз впливу ефективності керування технологічним агрегатом на показники якості продукції, її собівартість. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності при впровадженні модернізованої системи	18
1.5 Конкретизація мети модернізації системи	19
1.6 Висновок за розділом	20
РОЗДІЛ 2. Конкретизація задачі дотримання регламентів керування технологічним процесом приймання молока, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання	21
2.1 Розробка концептуальної моделі об'єкту регулювання.....	21
2.2 Ідентифікація моделей каналів перетворення об'єкта регулювання	23
2.3 Ідентифікація моделей детермінованих і випадкових складових неконтрольованих збурень	34
2.4 Реалізація моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним.....	37
2.5 Висновок за розділом.....	43
РОЗДІЛ 3. Розробка та параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР.....	45
3.1 Конкретизація завдань регулювання процесу приймання молока	45
3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури.....	49
3.3 Структурно-параметричний синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності.....	62
3.4 Висновок за розділом.....	72
РОЗДІЛ 4. Специфікація задачі та розробка алгоритмів логічного керування технологічним процесом	73
4.1 Конкретизація завдання логічного керування технологічним процесом	73
4.2 Формалізація регламенту, розробка алгоритмів автоматичного логічного контролю запуску та нормального вимкнення	75
4.3 Формалізація регламентів та розробка алгоритмів логічного керування для підсистем зупинки в нештатних ситуаціях	78
4.4 Висновок за розділом.....	80
РОЗДІЛ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючого впливу.....	81
5.1 Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал	81
5.2 Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	86
5.3 Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу.....	88
5.4 Вибір альтернативних варіантів технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі.....	102
5.5 Висновок за розділом	111

РОЗДІЛ 6. Розробка контролерно-комп'ютерної мережі та програмного забезпечення САК	112
6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж.....	112
6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування	114
6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання.....	123
6.4 Висновки за розділом.....	127
РОЗДІЛ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК	128
7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування	128
7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога	130
7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.....	130
7.4 Тестування системи керування	139
7.5 Висновок за розділом	143
РОЗДІЛ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці	144
8.1 Характеристики технологічного об'єкта керування та опис основних технічних рішень	144
8.2 Розробка схеми автоматизації.....	146
8.3 Розробка принципової електричної схеми керуванням електроприводом.	148
8.4 Розробка принципової електричної схеми живлення.....	148
8.5 Розробка принципових електричних схем підключення до модулів ПЛК.	148
8.6 Охорона праці.....	149
8.7 Висновок за розділом.....	152
РОЗДІЛ 9. Розрахунок економічної ефективності заходу кваліфікаційної роботи.....	153
9.1 Розрахунок капітальних вкладень (інвестицій) на модернізацію обладнання	153
9.2 Розрахунок поточних витрат при роботі базового та нового зразка системи управління та контролю.....	159
9.3 Розрахунок показників виробничої діяльності підприємства	163
9.4 Висновок за розділом.....	166
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	167
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	168
Додатки	169

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ОК – об'єкт керування

САК – система автоматичного керування

ЗНВ – зона незначимих відхилень

ММ – математична модель

ВП – випадковий процес

САР ПДТ – САР підвищеної динамічної точності

ВП – випадковий процес;

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

ФФ – формуючий фільтр;

СП – стохастичний процес;

ОР – об'єкт регулювання;

СХ – стохастичні характеристики;

ТП – технологічний процес;

ОР – об'єкт керування;

КЗ – коригувальний зв'язок;

СКЗ – спрощений коригувальний зв'язок;

ВСТУП

Якісне приймання молока пов'язане з роботою приладів лінії приймання молока. Тому якісне приймання молока є суттєвим фактором підвищення економічної ефективності функціонування виробництва в цілому.

Одним з найефективніших шляхів підвищення ефективності процесу приймання молока, підтверджених практикою, є підвищення рівню автоматизації процесу шляхом підвищення інтелектуального рівню системи автоматичного регулювання.

У роботі має бути проведено дослідження процесу приймання молока, як об'єкту керування, в результаті котрих має бути отримано математичні моделі основних каналів керування та неконтрольованих збурень. Отримані моделі слід перевірити на відповідність експериментальним даним. На основі отриманих моделей слід розробити алгоритми регулювання процесом, котрі забезпечують високу якість керування процесом.

Метою дипломної роботи є підвищення конкурентоздатності підприємства за рахунок підвищення ефективності допоміжного процесу приймання молока шляхом розробки обґрунтованих технічних рішень зі створення модернізованої САР процесом. Для досягнення поставленої мети визначенні завдання:

- проаналізувати процес приймання молока як об'єкту керування;
- розробити комплекс його моделей як об'єкту регулювання і провести моделювання для підтвердження відповідності отриманих моделей експериментальним даним;
- розробити варіанти алгоритмів регулювання, провести їхню параметричну оптимізацію, порівняльний аналіз САР, що забезпечують підвищену динамічну точність регулювання регламентованих змінних;

Рішенню перерахованих завдань і присвячена ця кваліфікаційна робота.

РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ПРИЙМАННЯ МОЛОКА, ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ТА ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

1.1 Короткий опис підприємства, характеристика виробничої і господарської діяльності

АТ «Молочний альянс» - група компаній, що об'єднує потужні підприємства з виробництва та реалізації основних видів молочної продукції, лідер молочної галузі України.

Історія підприємства розпочалася 2000 року з придбання кількох виробничих підприємств, які 2006 року були офіційно об'єднані в групу компаній.

АТ «Молочний альянс» - це бізнес, який стабільно та впевнено розвивається. Компанія демонструє стійку позитивну динаміку зростання.

Шість підприємств компанії займаються збором і обробкою молока, а також виробництвом сирів, цільно- та кисломолочної продукції. «Молочний Альянс» лідирує за обсягами продажів молока в Україні. На його частку припадає 22% цього ринку. Компанія також є №1 з виробництва та експорту сухої молочної сироватки. Продукція «Молочного Альянсу» випускається під брендами «Яготинське», «Яготинське для дітей», «ПирятинЪ», «Славія», «Златокрай» і «Здорово». Компанія регулярно розширює асортимент. У травні на Пирятинському сирзаводі «Молочний Альянс» запустив цех із виробництва сухого молока, яке постачатиметься переважно на зовнішній ринок, а на початку червня Баштанський сирзавод випустив м'який сир ручної роботи «Проволлоне». Свою продукцію група експортує в 35 країн, зокрема в арабсько-мусульманські. У грудні 2015-го вона отримала сертифікати на експорт молочної продукції під ТМ «Славія» в Китай.

Підприємства, що займаються прийманням молока, включають молокоприймальні пункти, молочні та доїльно-молочні блоки, а також міні-

цехи. Загалом, обладнання для приймання молока, таке як ваги, сепаратори, молокоочисники, резервуари та насоси, є спільним для більшості підприємств молочної промисловості.

1.2 Узагальнена характеристика технологічних процесів підприємства та рівня його автоматизації

Суть технологічного процесу - це цілеспрямоване перетворення матеріальних і енергетичних потоків в спеціальному технологічному устаткуванні (машинах, апаратах, агрегатах). Суть технологічного процесу приймання молока в отриманні готового продукту під впливом теплоносіїв (холодної води, гомогенізації та сепарації) в готовий продукт. Технологічний процес реалізується в лінії приймання молока.

Технологічна схема приймання молока наведена на рис. 1.1.

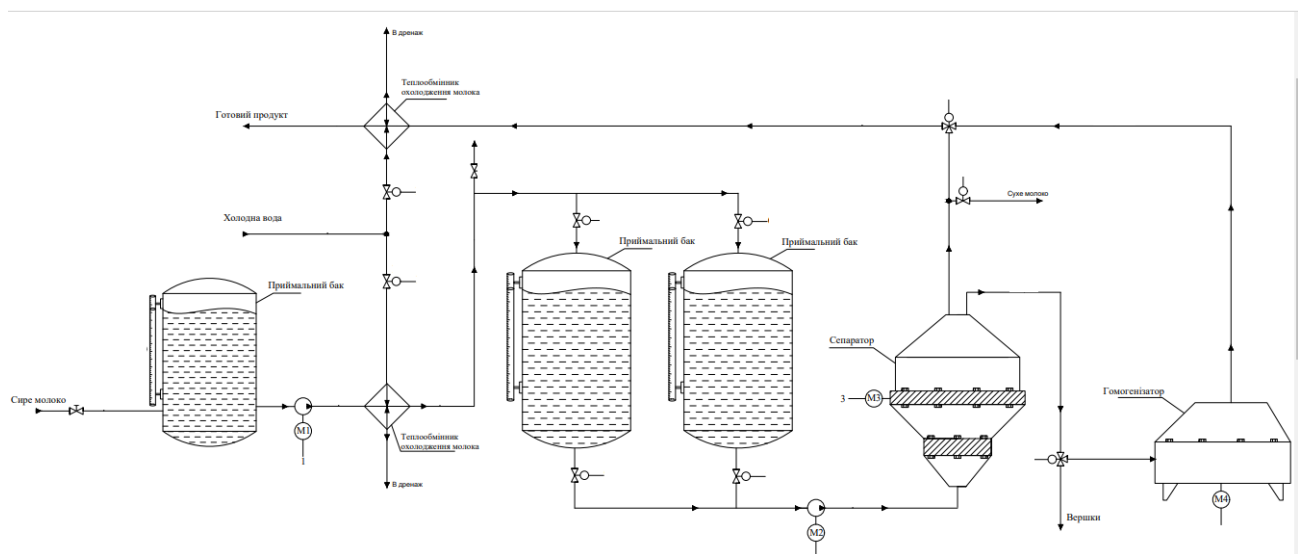


Рисунок. 1.1 Технологічна схема процесу приймання молока

Молоко надходить на установку через приймальний бак і подається насосом пластинчастий теплообмінник, де попередньо охолоджується перед надходженням до сепаратора, в якому поділяється на знежирене молоко і вершки.

Вміст жиру в вершках після сепаратора встановлюють на необхідному рівні, а потім підтримують на цьому рівні, незалежно від середніх змін вмісту

жиру та інтенсивності потоку молока, що надходить. Вміст жиру у вершках зазвичай встановлюють на рівні 35 або 40% для збитих вершків. Встановлений один раз вміст жиру в вершках утримується постійним за допомогою системи регулювання, що складається з датчику щільності; регулюючих клапанів та системи керування для системи нормалізації. В об'єкті використовується часткова гомогенізація, тобто обробляються лише вершки. Причина вибору цієї системи полягає в тому, що вона може функціонувати з невеликим гомогенізатором і таким чином споживати менше енергії, забезпечуючи високий ефект гомогенізації. Кислотність молока не повинна перевищувати 22°T , якщо кислотність молока перевищує 22°T , це вказує на початок процесів скисання.

Принцип роботи системи наступний: після першого приймального баку знаходиться контур вимірювання кислотності, якщо кислотність молока перевищує 22°T , то відчиняється клапан, який подає його до виробництва кисломолочної продукції. Після проходження через нормалізуючий пристрій потік вершків поділяється на дві частини. Одна, з відповідним об'ємним погодинним виходом для отримання питного молока з необхідним вмістом жиру, надходить в гомогенізатор, а інша, надлишкова частина, направляється на установку для переробки вершків. Оскільки вміст жиру в вершках, що підлягають гомогенізації, має становити не більше 18%, звичайні вершки, тобто з масовою часткою жиру 40%, перед гомогенізацією мають бути "розбавлені" знежиреним молоком. При використанні часткової гомогенізації гомогенізатор також приєднаний до лінії знежиреного молока, тому в ньому завжди є достатня кількість продукту для належного функціонування. Таким чином, відносно низький потік вершків компенсується знежиреним молоком до номінальної продуктивності. По ходу гомогенізації вершки із вмістом мол. жиру 18%, зрештою, змішуються всередині виробничої лінії з додатковою кількістю знежиреного молока для досягнення масової частки жиру 3% перед пастеризацією. Після молока надходить в охолоджувальну секцію теплообмінника, де воно охолоджується крижаною водою.

1.3 Вибір об'єкту для модернізації системи автоматизації, опис та аналіз реалізованого ним технологічним процесом та відповідного обладнання

Суттю технологічного процесу автоматизації приймання молока полягає в автоматизації роботи сепаратора та теплообмінника охолодження молока, регулюючи подачу сепарованого молока та охолодженого молока відповідно до реальних потреб системи.

Сепароване молоко подається з сепаратора через регулюючий вентиль.

Охолоджене молоко через РО надходить у теплообмінник охолодження молока.

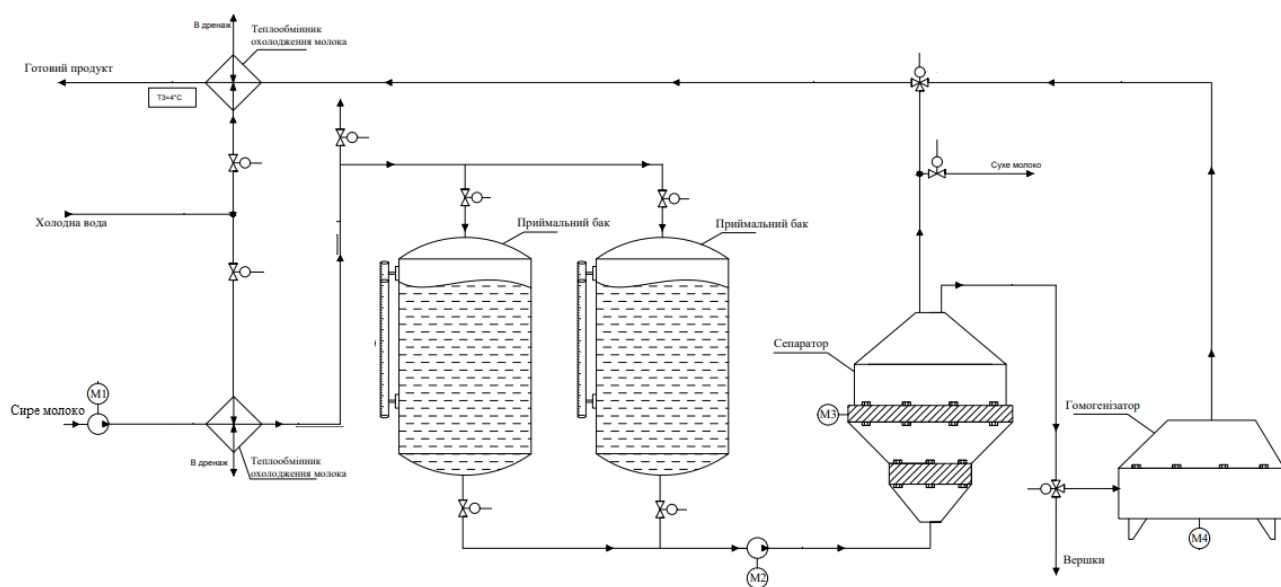


Рис.1.2 – Розгорнута схема ТП автоматизації приймання молока

Ділянка приймання молока складається з теплообмінників охолодження молока, приймальних баків, сепаратора, гомогенізатора.

Сепаратор для молока працює на принципі розділення компонентів молока під впливом відцентрової сили. Барабан сепаратора, що обертається з високою швидкістю, змушує більш важку водянисту частину молока (знежирене молоко) відходити до стінок, а більш легкі жирові кульки – до центру, звідки вони і збираються.

Гомогенізатор для молока працює за принципом механічного подрібнення жирових кульок у молоці, що запобігає їх осіданню та розшаруванню

продукту. Молоко під високим тиском проходить через вузький зазор, де відбувається інтенсивне зіткнення і дроблення жирових глобул. Це призводить до утворення більш дрібних, однорідних жирових частинок, рівномірно розподілених в молоці.

Теплообмінник для охолодження молока працює за принципом передачі тепла від молока до більш холодного середовища, зазвичай води. Молоко і охолоджуюча рідина (вода) циркулюють по різних каналах, розділених тонкими пластинами, що забезпечують теплообмін без змішування рідин. Гаряче молоко віддає тепло холодній воді, а вода, в свою чергу, забирає тепло, охолоджуючи молоко.

Мета ведення процесу - отримання заданих продуктів із заданими властивостями (показниками якості). Умови технологічного процесу автоматизації приймання молока є:

- Щільність молока – 3 %.
- Температура молока - 4 °C;

Технологічна схема є графічним відображенням руху і перетворення матеріальних та енергетичних потоків. Кожен потік і процес перетворення його механічних, фізичних, хімічних і біологічних властивостей характеризується набором параметрів, які відображають їх властивості та умови перетворення потоків. Їх нанесення на схему технологічного процесу і є її параметризацією.

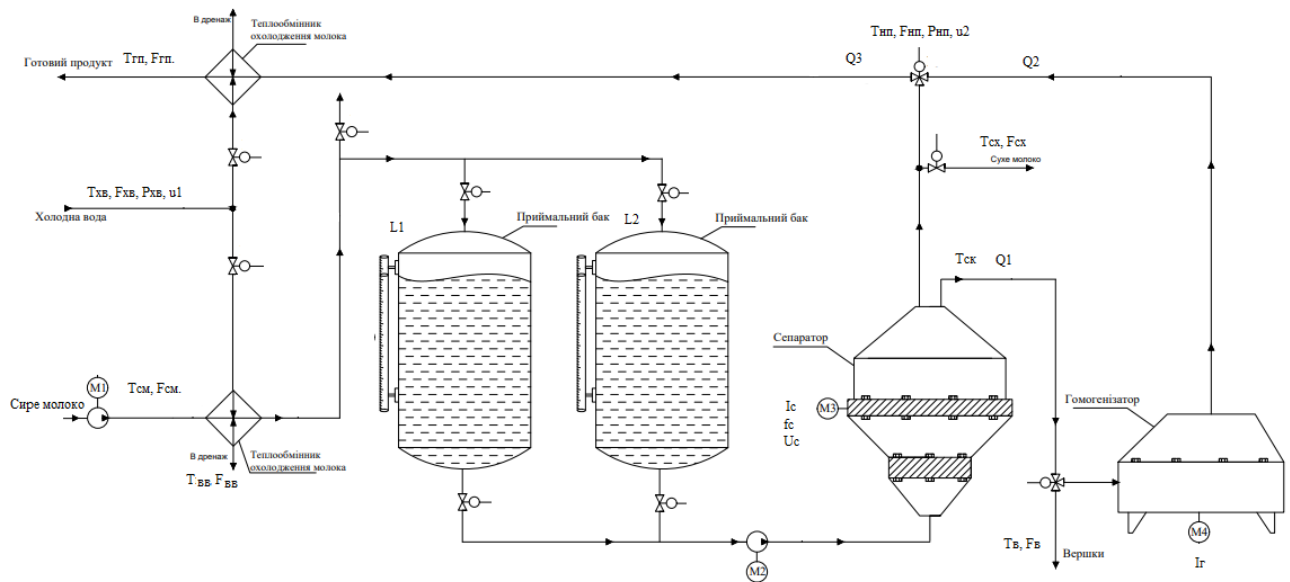


Рис.1.3 – Параметризована технологічна схема автоматизації приймання
молока

Позначення на параметризованій схемі:

T_{CM} – температура сирого молока.

F_{CM} – витрата сирого молока.

T_{XB} – температура холодної води.

F_{XB} – витрата холодної води.

P_{XB} – тиск подачі холодної води.

u_1 – регулюючий орган подачі холодної води.

T_{BB} – температура відпрацьованої води.

F_{BB} – витрата відпрацьованої води.

L_1 – рівень молока у першому приймальному баці.

L_2 – рівень молока у другому приймальному баці.

I_c – струм на двигуні сепаратора.

f_c – частота струму в електромережі сепаратора.

U_c – напруга в електромережі сепаратора.

T_{CK} – температура скисання молока при поділі на сепароване молоко та вершки.

T_B – температура вершків.

F_B – витрата вершків.

U_r – напруга в електромережі гомогенізатора.

Q_1 – щільність молока після сепаратора.

Q_2 – щільність молока після гомогенізатора.

T_{np} – температура напівпродукту.

F_{np} – витрата напівпродукту.

P_{np} – тиск подачу напівпродукту.

u_2 – регулюючий орган подачу напівпродукту.

Q_3 – щільність готового молока.

$T_{гп}$ – температура готового продукту.

$F_{гп}$ – витрата готового продукту.

Всього параметрів – 26.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ - визначає умови, при яких в результаті технологічного процесу виходить продукт із заданими властивостями. Він є набором номінальних значень і допусків на відхилення від номінальних технологічних параметрів. Для технологічного процесу приймання молока таким параметром є щільність молока Q_3 , температура готового продукту $T_{гп}$,

ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РЕГЛАМЕНТ - визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного устаткування. Він є набором номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів цього технологічного устаткування. Для лінії приймання молока такими параметрами є I_c та I_r – струм двигунів сепаратора та гомогенізатора;

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ і екологічний регламент визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. Він є набором номінальних або гранично допустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів. До цієї групи параметрів можна віднести витрату сирого молока $F_{см}$, витрату холодної води $F_{хв}$, витрату відприцьованої води $F_{вв}$, витрату вершків F_v , витрату напів-продукту F_{np} , витрату готового продукту $F_{гп}$.

Відхилення параметрів технологічного процесу від регламентних значень, що викликаються зміною параметрів, що характеризують умови ведення процесу навіть при досить ефективному управлінні процесом, можуть перевищувати встановлені допуски. Залежно від наслідків, можна виділити два характерні типи таких порушень:

а) технологічний процес не припиняється, вихід за допуски ліквідовується з часом, наприклад, за рахунок управління процесом;

б) технологічний процес припиняється повністю або частково, для його відновлення часто потрібна підготовка устаткування до повторного запуску (видалення сировини з машин, чищення робочих органів, їх заміна і так далі).

Відхилення щільності продукту на виході з лінії приймання молока нижче гранично допустимих значень може привести до недостатку жирності молока, а це у свою чергу вплине на корисні властивості готової продукції, а перевищення температури верхнього гранично допустимого значення може привести до зміни властивостей молочної продукції, та навіть скороченню терміну придатності, тобто псуванню. У обох випадках порушення регламенту веде до погіршення якості готового продукту і навіть до збільшення виходу браку.

Допуски на відхилення поточних (режимних) значень регламентованих параметрів від номінальних прийнято підрозділяти і задавати у вигляді допусків на тривалі і короточасні відхилення.

Тривало допустимі відхилення визначають зону незначних для цього процесу відхилень (ЗНВ) даного параметра. Усередині цієї зони значення параметра можна вважати приблизно рівним нормативному, тому відхилення, що не виходять зі ЗНВ, можна не усувати.

Короточасні допустимі відхилення параметрів перевищують їх ЗНВ і призводять до зниження ефективності процесу, тому (як вже ясно з назви) вони допустимі лише обмежений час, який задається і входить в регламент. Вихід параметрів за зону короточасно допустимих відхилень свідчить про порушення в технологічному процесі або в експлуатації устаткування, які

можуть привести до аварії.

Аналіз нормативів ведення технологічного процесу і експлуатації устаткування оформимо у вигляді таблиці регламентів 1.1.

	Найменування параметрів	Познач.	Одиниця виміру	Номінальне значення	Допустимі відхилення від		
					Тривалі	Короткочасні	Час
1	Щільність напівпродукту	QЗ	%	3	± 5	± 8	60
2	Температура готового продукту	T _{гп}	°C	4	± 3	± 6	60

Таблиця 1.1 Таблиця регламентів

Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від номінальних (і можуть виходити за межі допусків) внаслідок зміни умов, в яких ведеться процес.

Ці умови також характеризуються певними параметрами і можуть бути (для зручності) згруповані за деякими ознаками.

СИРОВИННІ ПАРАМЕТРИ характеризують властивості продукту, що йде на переробку.

До цієї групи параметрів віднесемо параметри T_{см} – температура сирого молока; T_{хв} – температура холодної води T_{вв} – температура відпрацьованої води T_в – температура вершків T_{нп} – температура напівпродукту

ЕНЕРГЕТИЧНІ ПАРАМЕТРИ характеризують енергію, яка підводиться до технологічного устаткування ззовні і витрачається на зміну властивостей продуктів.

До цієї групи параметрів віднесемо f – частота мережі; U – напруга мережі; I_с – струм на двигуні сепаратора I_г – струм на двигуні гомогенізатора P_{хв} – тиск холодної води P_{нп} – тиск напівпродукту,

МЕХАНІЧНІ (або інші специфічні) параметри технологічного устаткування характеризують стан її робочих органів.

До цієї групи параметрів віднесемо положення регулюючого органу, що дроселює потік напівпродукту (u_1), положення регулюючого органу, що дроселює потік холодної води (u_2).

Положення регулюючих клапанів u_1 , u_2 безпосередньо впливають на витрати матеріальних потоків (води, продукту), вони відповідають визначенню керуючих впливів. Змінюючи положення цих клапанів, можна регулювати кількість води, продукту, що дає вплив на щільність напівпродукту та температуру готового продукту.

Формалізація опису взаємозв'язків між параметрами ТП досягається за рахунок переходу від параметризованої до параметричної схеми ТП. При цьому ті параметри, які відображають цілі функціонування об'єкта моделювання та додаткові вимоги до нього, тобто ті параметри, які регламентовані, будуть вихідними, а параметри, що відбивають умови функціонування об'єкта – вхідними.

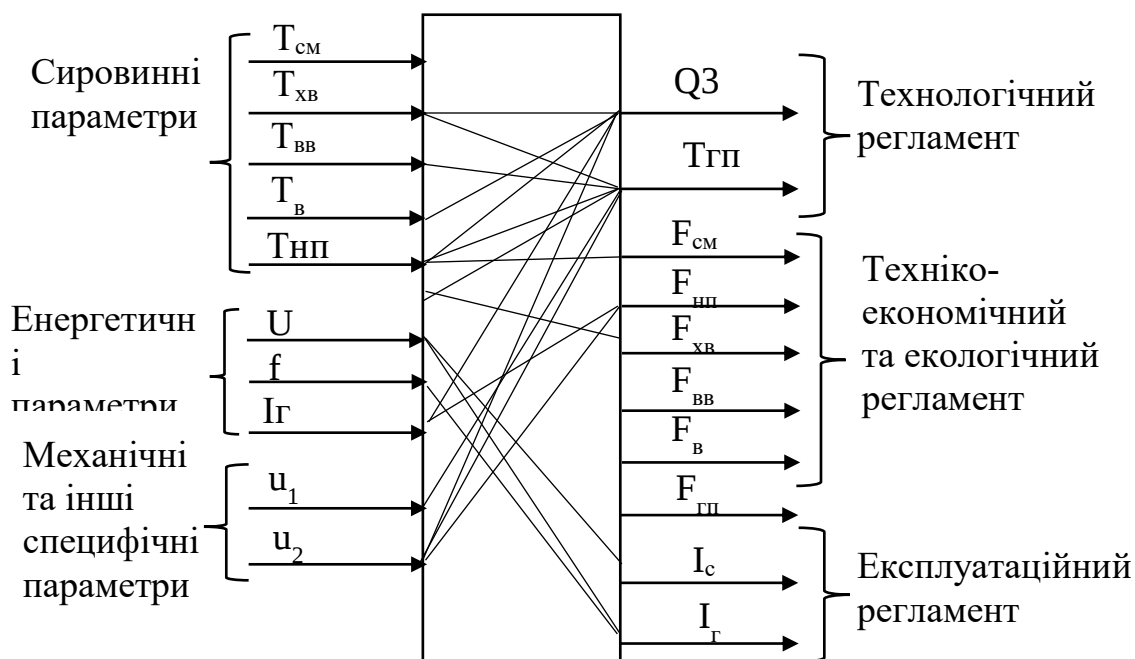


Рисунок 1.4 – Параметрична схема процесу приймання молока

1.4 Аналіз впливу ефективності керування технологічним агрегатом на показники якості продукції, її собівартість. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності при впровадженні модернізованої системи

У процесі функціонування модернізованої САК повинно бути підвищення якості регулювання регламентованих змінних.

Потенційними джерелами економічної ефективності при впровадженні модернізованої системи є:

Зменшення витрат холодної води

Перелік вирішуваних завдань та їх вплив на показники економічної ефективності зведемо в таблицю 1.2.

Статті витрат	Очікуване джерело економії	Кількісна оцінка
Витрати пари	Стабілізація температури готового продукту	Умовно змінна норма витрати води: до автоматизації – 1.5 м ³ після автоматизації – 1.3 м ³

Таблиця 1.2 – Перелік вирішуваних завдань та їх вплив на показники економічної ефективності

1.5 Конкретизація мети модернізації системи

Економічна винагорода – підвищення конкурентоспроможності підприємства та прибутковості підприємства за рахунок підвищення якості регулювання регламентованих змін та зниження питомих витрат енергоресурсів при впровадженні модернізованої САК.

Система керування процесом приймання молока реалізована на базі технічних і програмних засобів із отриманням інформації про змінні процеси

та реалізацією керуючих впливів, за допомогою ПЕОМ та ПЕОМ.

Система повинна реалізовувати такі функції:

а) інформаційну:

- збір та обробка технологічної інформації;
- оперативне відображення технологічної інформації;
- зберігання технологічної інформації;

б) керівники:

- стабілізація технологічних параметрів;
- вибір режимів керування;
- автоматичне логічне керування агрегатом у стандартних і нестандартних ситах.

1.6 Висновок за розділом

В якості об'єкта дослідження системи автоматизації обрано лінію приймання молока. Зроблено опис та аналіз технологічного процесу приймання молока та необхідного обладнання.

Економічна винагорода – підвищення конкурентоспроможності підприємства та прибутковості підприємства за рахунок підвищення якості регулювання регламентованих змін та зниження питомих витрат енергоресурсів при впровадженні модернізованої САК. Витрата на водопостачання здійснюється за рахунок якісного контролю регулюючих органів і підтримки регламентованих змінних.

З огляду на вищезазначене, необхідно вдосконалювати контроль якості, вдосконалювати алгоритми керування, розвивати контролерно-комп'ютерні мережі, а також розробляти SCADA для автоматизованого робочого місця оператора.

РОЗДІЛ 2 КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ДОТРИМАННЯ РЕГЛАМЕНТІВ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ПРИЙМАННЯ МОЛОКА, РОЗРОБКА І РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЛЕКСУ ЙОГО МОДЕЛЕЙ ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ

2.1 Розробка концептуальної моделі об'єкту регулювання

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.

Декомпозиція загальної мети функціонування підприємства 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 – виконання технологічних, експлуатаційних і техніко-економічних регламентів, зокрема – оптимізація роботи окремих одиниць обладнання.

Звідси задачу керування можна розділити на:

а) задачу регулювання, коли необхідно забезпечити виконання вимог регламенту;

б) завдання умовної оптимізації, коли при дотриманні вимог регламенту додатково відповідно до наперед сформульованим критерієм, вирішуються задачі оптимізації процесу.

Для процесу приймання молока в якості регульованих координат доцільно обрати температуру готового продукту $T_{гп}$ та щільність молока Q_3 .

Необхідною умовою вирішення задач керування є наявність управляючих 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 регулювальних органів. Кількість управляючих

дій повинно бути рівним кількості регульованих змінних.

Для процесу приймання молока до управляючих дій доцільно віднести положення регульовального органу, що забезпечують подачу холодної води U_1 та подачі напівпродукту U_2 .

Після того, як визначені управляючі дії, всі інші вхідні змінні відносять у розряд збурень, тобто таких дій середовища, зміна яких порушує хід технологічного процесу і режими роботи технологічного агрегату.

Для процесу приймання молока не було виявлено параметрів, які б доцільно було віднести до контрольованих збурень. Отже, всі вхідні дії, крім управляючих дій, віднесемо до неконтрольованих збурень. Детерміновану складову цих збурень адитивно прикладемо до управляючих дій, а стохастичну складову – до регульованих координат.

Структурна схема ОК є черговим і останнім етапом формалізації подання технологічного процесу як ОК. Структурна схема ОК, по суті, є найбільш загальною (концептуальною) моделлю технологічного процесу як ОК.

Структурна схема процесу приймання молока наведена на рис. 2.1.

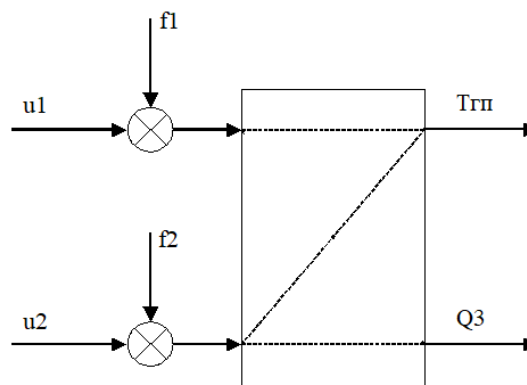


Рис. 2.1 – Структурна схема процесу приймання молока як об'єкту регулювання

$T_{гп}$ – температура готового продукту, °C;

Q_3 – Щільність готового молока, %;

u_1, u_2 – регулюючі впливи (u_1 - дроселює потік холодної води, u_2 - положення регулюючого органу, що дроселює потік напівпродукту)

% х.р.о.; f_1 , f_2 – неконтрольовані збурення.

2.2 Ідентифікація моделей каналів перетворення об'єкта регулювання

Перед початком експериментів доцільно на основі апріорних даних, виходячи з фізичної суті об'єкту, попередньо оцінити властивості каналів, моделі яких підлягають ідентифікації.

Для технологічного процесу приймання молока за каналами управління ОК має властивість самовирівнювання. Збільшення управляючої дії u_1 приведе до зменшення температури готового продукту та до збільшення щільності молока. Збільшення управляючої дії u_2 приведе до збільшення щільності молока та до зменшення температури готового продукту.

Виходячи з фізичної суті процесів, що протікають в ОК, відомо, що відносно у повній мірі математично ці процеси можуть бути описані нелінійними диференціальними рівняннями. Але також відомо, що номінальний режим функціонування ОК пов'язаний з порівняно вузьким діапазоном зміни температури готового продукту як регульованої координати. А в такому діапазоні процеси можуть бути описані лінійними диференціальними рівняннями, тобто припустимою є лінеаризація моделі ОК.

Активні експерименти можуть проводитися тільки з каналами, вхідні змінні яким доступні для цілеспрямованої зміни. Ними, насамперед, є керуючі дії. При цьому експериментатор може обирати вхідну дію будь-якої форми (ступінчасту, лінійно зростаючу, імпульсну, гармонічну, випадкову). Однак, з розуміння простоти організації цих дій, мінімізації витрат часу на проведення експерименту та обробки його результатів, доцільно використовувати ступінчасті дії.

План активного експерименту

1. За допомогою зміни управляючих дій u_1 та u_2 домагаємося значень регульованих координат, що перебували б в околицях їх номінальних значень.

2. Чекаємо закінчення перехідних процесів в каналах та настання сталих режимів, при яких вихідні змінні перестануть змінюватися.

3. Змінимо управляючу дію u_1 ступінчастим чином на 10%х.р.о., відзначивши при цьому момент початку його зміни.

4. Реєструємо зміну вихідних змінних до настання нових сталих режимів.

5. Повертаємо u_1 у вихідний стан, чекаємо закінчення перехідних процесів в каналах та настання сталих режимів.

6. Змінимо управляючу дію u_2 ступінчастим чином на 10%х.р.о., відзначивши при цьому момент початку його зміни.

7. Реєструємо зміну вихідних змінних до настання нових сталих режимів.

Результати активного експерименту наведені на рис. 2.2.

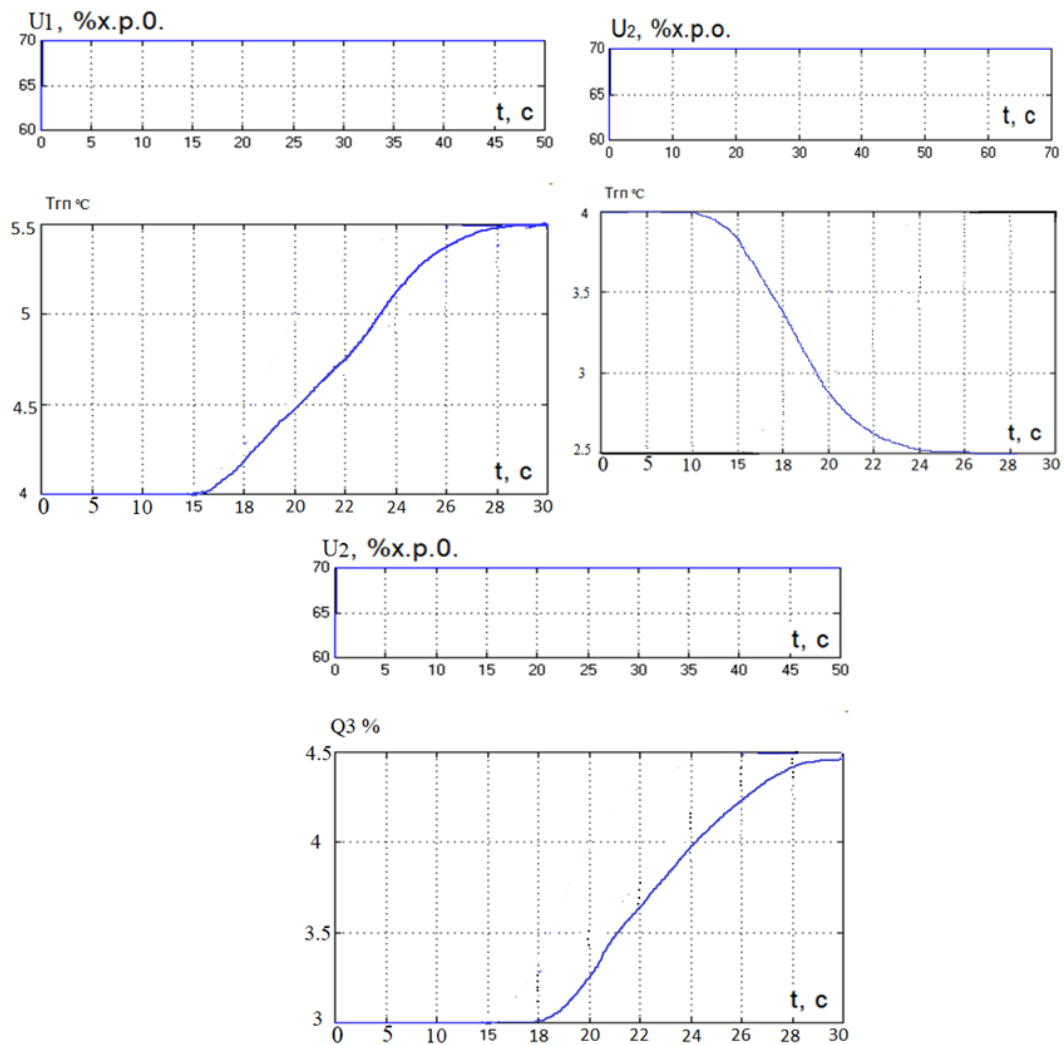


Рис. 2.2 – Результати активного експерименту

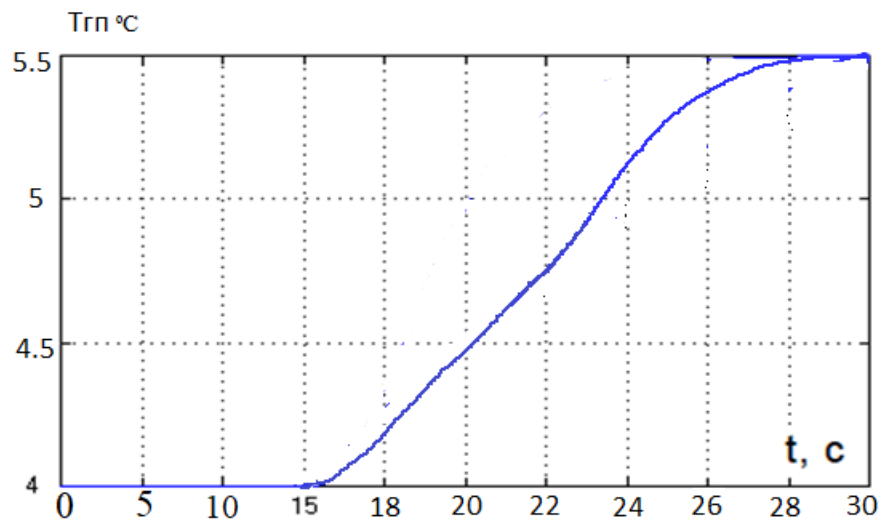
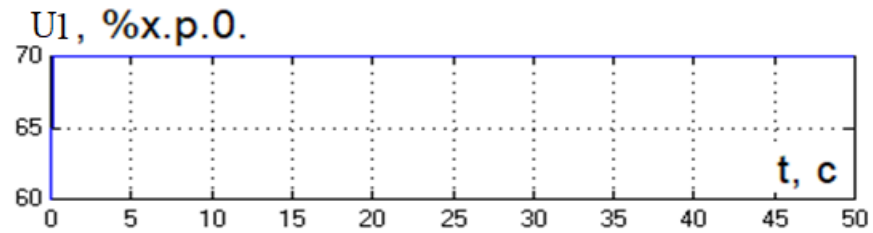
За результатами активного експерименту (рис. 2.2) можна зробити висновок, що канал управління ОК має властивість самовирівнювання, а значить його модель може бути описана передаточними функціями: першого та другого порядку:

Для параметричної ідентифікації моделей ОК зі статичними властивостями необхідно знайти коефіцієнт передачі ОК (K_0), сталу часу (T_0) і час запізнення (τ_0) для кожного каналу ОК.

Канал « $U_1 - T_{gn}$ »

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики

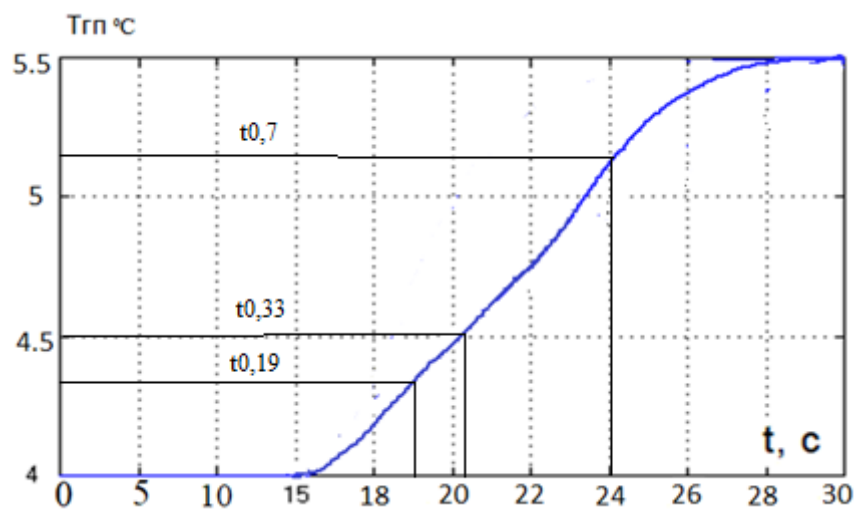
„ДВОХ загальних точок”.



$$W_{U_1 - T_{гр}}^o(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{Tp + 1}; \quad W_{U_1 - T_{гр}}^o(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{(Tp + 1)^2}$$

$k, T, \tau - ?$

$k = \Delta I / \Delta U_1 = (I_k - I_{п}) / (U_{1k} - U_{1п}) = (5.5 - 4) / (70 - 60) = 1.5 / 10 = 0.15 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{х.р.о.}$



Модель 1-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 21 - 24) / 2 = 19,5 \text{ c}$$

$$t_{0,33} = 21 \text{ c}$$

$$t_{0,7} = 24 \text{ c}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (24 - 19,5) / 1,2 = 3.75 \text{ c}$$

$$W_{U_1 - T_{\Gamma\Pi}}^o(p) = \frac{0.15 \cdot e^{-19,5p}}{3.75p + 1}$$

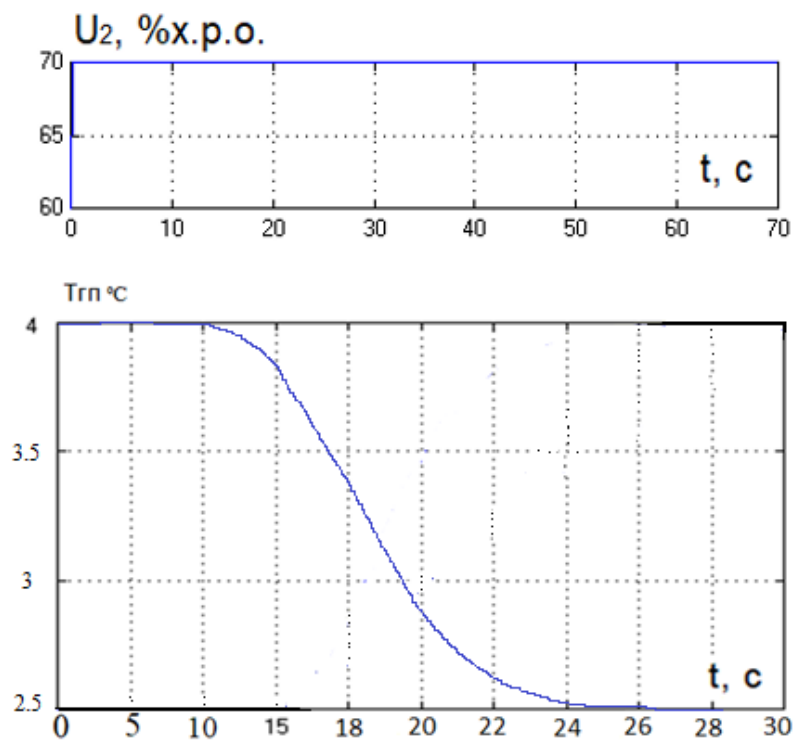
Модель 2-го порядка

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 19 - 24) / 2 = 16,5 \text{ c}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (24 - 16,5) / 2,4 = 3.125 \text{ c}$$

$$t_{0,19} = 19,45 \text{ c}$$

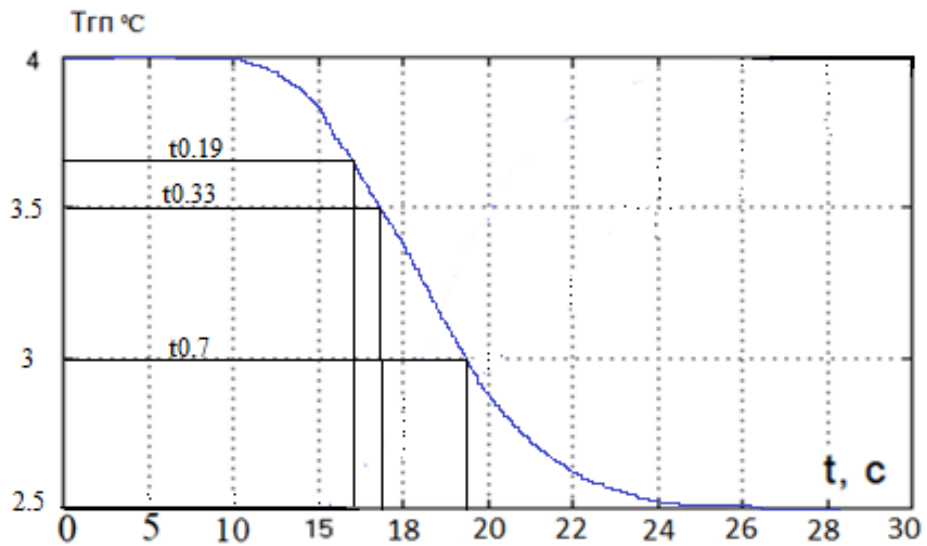
$$W_{U_1 - T_{\Gamma\Pi}}^o(p) = \frac{0.15 \cdot e^{-16,5p}}{(3.125p + 1)^2}$$



$$W_{U_2 - T_{\Gamma\Pi}}^o(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{Tp + 1}; \quad W_{U_2 - T_{\Gamma\Pi}}^o(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{(Tp + 1)^2}$$

k, T, τ - ?

$$k = \Delta I / \Delta U_2 = (T_{\Gamma\Pi \text{ к}} - T_{\Gamma\Pi \text{ п}}) / (U_1 - U_{1\Pi}) = (4 - 2.5) / (70 - 60) = 1.5 / 10 \\ = 0,15 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}$$



Модель 1-го порядка

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 17.5 - 19.5) / 2 = 11.5 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1.2 = (19.5 - 11.5) / 1.2 = 6.6 \text{ с}$$

$$t_{0,33} = 17.5 \text{ с}$$

$$t_{0,7} = 19.5 \text{ с}$$

$$W_{U_2 - Trn}^o(p) = \frac{0.15 \cdot e^{-11.5p}}{6.6p + 1}$$

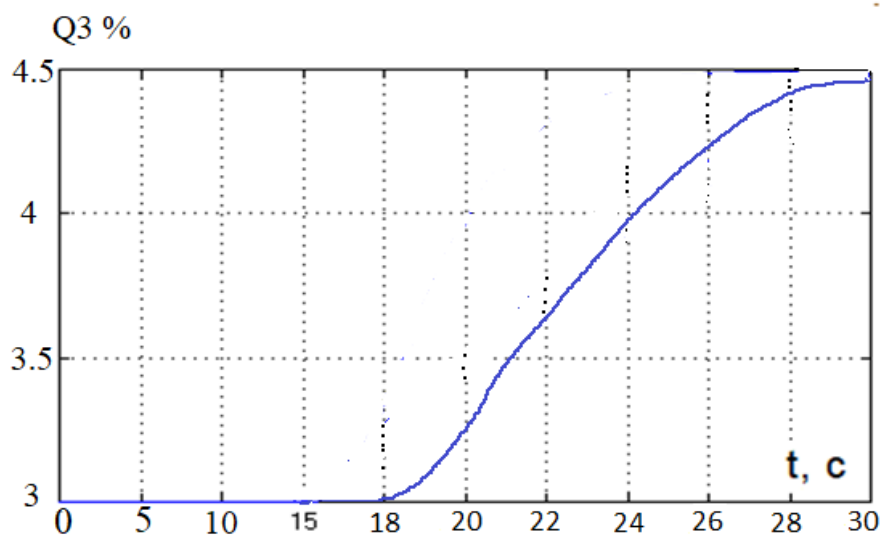
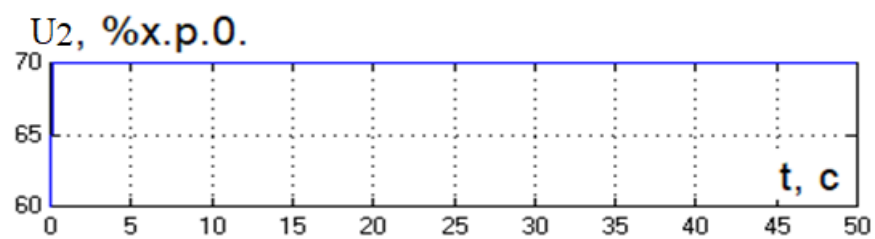
Модель 2-го порядка

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 17 - 19.5) / 2 = 15.75 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2.4 = (33.3 - 17.1) / 2.4 = 6.8 \text{ с}$$

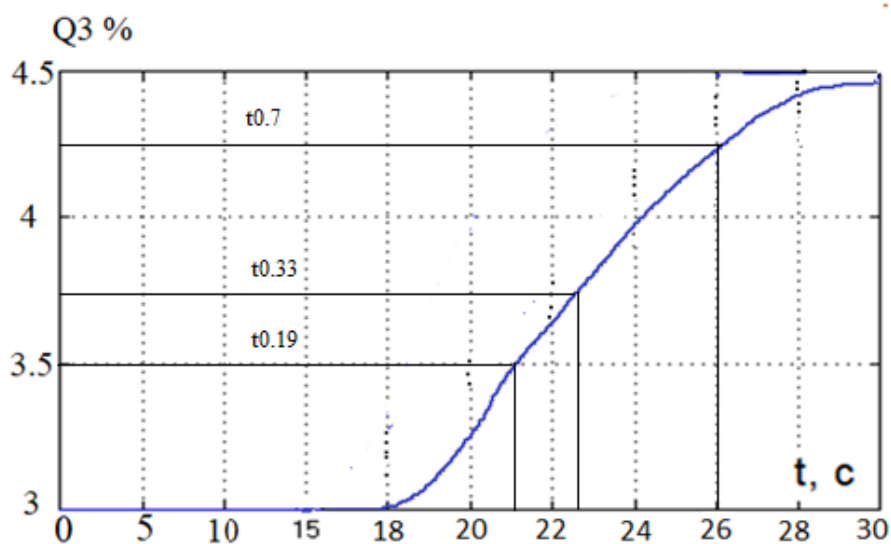
$$t_{0,19} = 17 \text{ с}$$

$$W_{U_2 - Trn}^o(p) = \frac{0.15 \cdot e^{-15.75p}}{(6.8p + 1)^2}$$



$k, T, \tau - ?$

$$k = \Delta Q3 / \Delta U_2 = (Q3_{\text{к}} - Q3_{\text{п}}) / (U_2 - U_{2\text{п}}) = (4.5 - 3) / (70 - 60) = 1.5 / 10 = 0,15 \% / \% \text{x.p.o.}$$



Модель 1-го порядка

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 22.8 - 26) / 2 = 21.2 \text{ c}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (26 - 21.2) / 1,2 = 4 \text{ c}$$

$$t_{0,33} = 22.8 \text{ c}$$

$$t_{0,7} = 26 \text{ с}$$

$$W_{u_2-q_3}^o(p) = \frac{0.15 \cdot e^{-21.2p}}{4p + 1}$$

Модель 2-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 21 - 26) / 2 = 18.5 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2.4 = (26 - 18.5) / 2.4 = 3.125 \text{ с}$$

$$t_{0,19} = 21 \text{ с}$$

$$W_{u_2-q_3}^o(p) = \frac{0.15 \cdot e^{-18.5p}}{(3.125p + 1)^2}$$

Метою цього підрозділу роботи є отримання моделей статички для побудови моделей динаміки в абсолютних величинах. Також метою підрозділу є отримання моделей статички каналі ОК з суттєво нелінійними властивостями, якщо така задача передбачена індивідуальним завданням.

Статичні властивості ОК описуються статичними характеристиками (моделями) каналів. Вони відбивають взаємозв'язок між вхідними і вихідними координатами (перемінними) каналів ОК в статично сталих режимах, тобто після загасання всіх перехідних складових цих перемінних.

Значення u , отримані в результаті експерименту, завжди мають випадкову складову, обумовлену дією некерованих і неконтрольованих змінних, похибками вимірювання u та x . У теорії експерименту вхідні змінні ОК називають факторами, а регульовані координати – відгуком. Відповідно до цієї термінології експеримент, проведений для ідентифікації моделі, де функція залежить від однієї змінної, називають однофакторним, а функція багатьох змінних – багатофакторним.

Експерименти для отримання математичних моделей статички можуть бути пасивному або активними (як і при отриманні моделей динаміки). Для отримання моделей статички у нашому випадку будемо використовувати активний експеримент.

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 рандомизувати 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 повторях можуть не виявитися. У найпростіших випадках можна використовувати і регулярні плани.

Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК зведено в таблицю 2.1 і на рис. 2.3.

Таблиця 2.1 Результати експерименту для
визначення статичної характеристики ОК

u_1 , %x.p.o.	u_2 , %x.p.o.	$T_{гп}, ^\circ$ C	Q3, %
60	60	4	3
70	60	4.4	3.3
80	60	4.8	3.6
90	60	5.2	3.9
100	60	5.6	4.2
50	60	3.6	2.7
40	60	3.2	2.4
30	70	2.8	2.1
20	80	2.4	1.8
10	90	2	1.5
60	50	4	3
60	40	4.4	3.2
60	30	4.8	2.9

$$T_{гп} = f(u_1, u_2 = 60 \%x.p.o.)$$

$$T_{гп} = f(u_2, u_1 = 60 \%x.p.o.)$$

$$Q3 = f(u_2, u_1 = 60 \%x.p.o.)$$

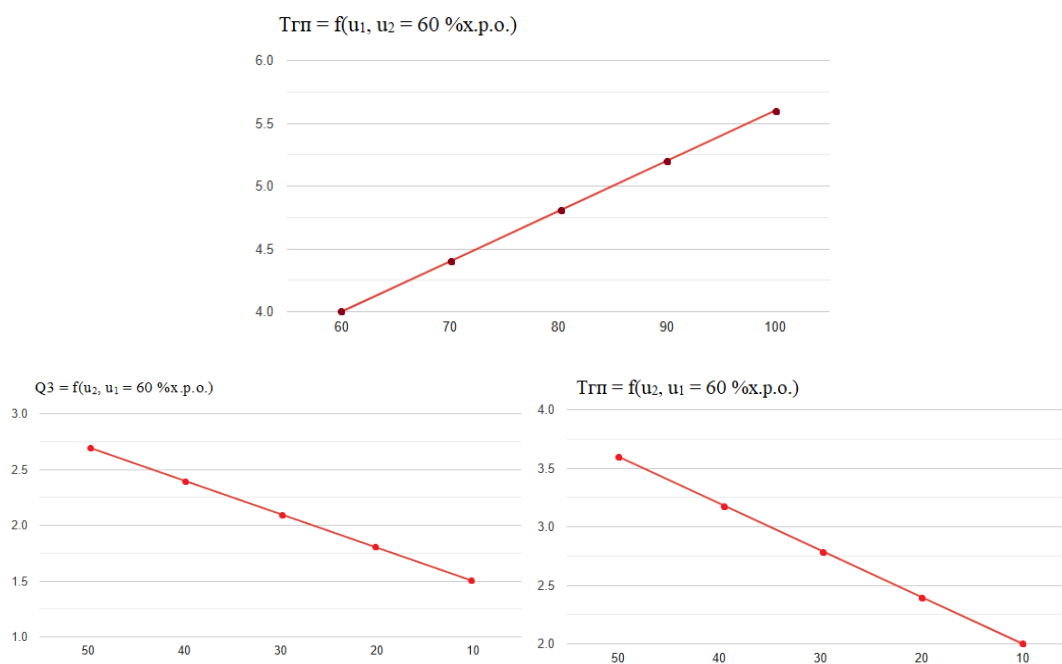


Рис. 2.3 – Результати для визначення статичних характеристик ОК

Структурна ідентифікація є вихідним пунктом загального завдання ідентифікації моделей статистики. 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 поверів може бути кілька, тобто процедура ідентифікації носить ітераційний характер.

Структурна ідентифікація моделей статистики зводиться до вибору виду рівняння регресії $y = \Phi(x) \cdot \rho$. Структурна ідентифікація є вихідним пунктом загального завдання ідентифікації моделей статистики. 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 поверів може бути кілька, тобто процедура ідентифікації носить ітераційний характер. Для проведення параметричної ідентифікації моделі статистики ОК доцільно використовувати метод найменших квадратів. Суть методу полягає в пошуку такого вектора параметрів a та ρ вибраної моделі, що забезпечував би мінімальну суму квадратів розходження між значеннями вихідної змінної об'єкта y , отриманих у результаті експерименту $y_i, i = 1, n$ при значеннях вхідних змінних x та ρ , і вихідної змінної моделі об'єкта u_m , обчисленої при тих же значеннях x та ρ , тобто

$$T_{гп} = a_1 \cdot u_1 + a_2 \cdot u_2 + a_3$$

$$Q_3 = b_1 \cdot u_2 + b_3$$

Параметри a_1, a_2, b_1 та b_2 були нами визначені в процесі ідентифікації в підрозділі 2.2. При цьому:

$$a_1 = \Delta T_{гп} / \Delta u_1 = (4.4 - 4) / (70 - 60) = 0.4 / 10 = 0.04^\circ\text{C} / \%x.p.o.$$

$$a_1 = K_{u1-Q3} = 0.02^\circ\text{C} / \%x.p.o.$$

$$a_{гп0} = T_{гп} - a_1 \cdot u_1 - a_2 \cdot u_2 = 4 + 0,04 \cdot 60 - 0,02 \cdot 60 = 4 + 2,4 - 1,2 = 5,2^{\circ}\text{C}$$

$$T_{гп} = 0,04 \cdot u_1 + 0,02 \cdot u_2 + 5,2$$

Параметри a_0 та b_0 можна визначити із залежностей:

$$b_1 = \Delta Q_3 / \Delta u_2 = (3,3 - 3) / (70 - 60) = 0,3 / 10 = 0,03\% / \% \text{х.р.о.}$$

$$b_3 = Q_3 - b_1 \cdot u_2 = 3 + 0,03 \cdot 60 = 0,03 + 1,8 = 1,83\%$$

$$Q_3 = 0,03 \cdot u_1 + 1,83$$

Отже, статичні характеристики досліджуваного ОК будуть описані залежностями:

$$T_{гп} = 0,04 \cdot u_1 + 0,02 \cdot u_2 + 5,2$$

$$; Q_3 = 0,03 \cdot u_1 + 1,83$$

2.3 Ідентифікація моделей детермінованих і випадкових складових неконтрольованих збурень

Слід зазначити, що неконтрольовані збурення на ОК не є чітко певними фізичними параметрами. Вони є певною математичною абстракцією, про яку відомою є лише реакція системи регулювання на них. Діапазон їх зміни доцільно прив'язувати до фізичного діапазону зміни управляючих дій. З теорії автоматичного керування відомо, що фізичний діапазон зміни управляючої дії лежить у межах 0...100 %х.р.о., а діапазон зміни неконтрольованих збурень може становити приблизно 10...15% від діапазону зміни управляючої дії, тобто становить приблизно 10...15 % х.р.о. (якщо неконтрольовані збурення прикладені до управляючої дії), або (10...15) u_0 (якщо неконтрольовані збурення прикладені до регульованої координати).

Контрольовані збурення – це конкретні фізичні параметри, які мають власну розмірність. Діапазон їх зміни можна визначити, виходячи з технологічних і виробничих інструкцій.

В інженерній практиці моделі вхідних дій звичайно представляють у

формі процесу з декількома адитивними складовими, наприклад:

$$f(t) = \bar{f}(t) + \tilde{f}^n(t) + \tilde{f}^c(t) + \tilde{f}^m(t),$$

де $\bar{f}(t)$ – детермінована повільно змінювана складова;

$\tilde{f}^n(t)$ – квазидетермінована складова;

$\tilde{f}^c(t)$ – стохастична центрована складова;

$\tilde{f}^m(t)$ – високочастотна стохастична складова – шум.

Варто враховувати, що складові $\bar{f}(t)$, $\tilde{f}^n(t)$ є відносно низькочастотними діями, несприятливі наслідки яких САК повинна і може компенсувати.

Складова $\tilde{f}^m(t)$ пов'язана або із шумами у вимірювальних каналах, або з високочастотними збуреннями, наслідки яких, у силу особливостей каналів керування ОК, скомпенсовані бути не можуть. В обох випадках $\tilde{f}^m(t)$ в САК повинні бути відфільтровані. Визначивши властивості $\tilde{f}^m(t)$, можна підібрати параметри фільтрів низької частоти, які не «пропустять» шуми від об'єкту керування на вхід регулятора.

Вплив складової $\tilde{f}^c(t)$ на регульовану змінну не повністю компенсується регулятором САР і якраз зменшення цього впливу і визначає ефективність алгоритмів, які реалізує система регулювання.

Моделі неконтрольованих збурень доцільно представляти як суму чотирьох складових. Причому, детерміновану $\bar{f}(t)$ та квазидетерміновану $\tilde{f}^n(t)$ складові доцільно привести до управляючої дії, а стохастичну складову $\tilde{f}^c(t)$ та шум $\tilde{f}^m(t)$ доцільно привести до регульованої координати

На практиці дуже часто прагнуть використовувати найбільш прості моделі

детермінованих складових. У таких умовах в якості моделі $\bar{f}(t)$ приймають модель ступінчастої дії,

$$\bar{f}(t) = \begin{cases} a_{f_H} = \Delta f_H, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}, \text{ прикладеного до входу ОК.}$$

Ступінчасте збурення є одним з найбільш несприятливих з обмежених по величині дій на ОК (з погляду виникаючих у САК динамічних відхилень і тривалості виникаючих перехідних процесів).

Наближена ідентифікація Δf_n для ступінчастого збурення може бути проведена у такий спосіб:

Визначають (приблизно) середнє значення управляючої дії
 $u(t) = \bar{u}(t)$, якому відповідає номінальне значення регульованої координати.

1. Задають значення $\Delta f_n = (0,1 \dots 0,2)u(t)$.

Квазідетермінована складова $\tilde{f}^n(t)$ може мати, наприклад, гармонійний характер, що відбиває вплив на регульовану змінну $y(t)$ періодично працюючого обладнання. Модель $\tilde{f}^n(t)$ знаходять при цьому безпосередньо із графіків $y(t)$, отриманих при проведенні пасивного експерименту. Для відтворення моделей $\tilde{f}^e(t)$ або $\tilde{f}^m(t)$ досить часто використовують метод формуючого фільтру. Його можна подати у вигляді такої структурної схеми моделювання

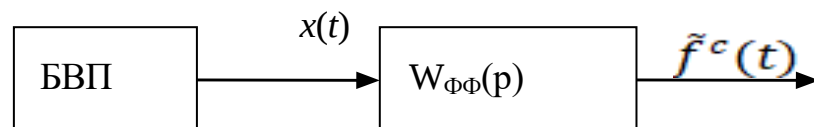


Рис. 2.4 – Базова модель випадкового процесу

де БВП - генератор базового випадкового процесу („білого шуму”);
 $W_{\Phi\Phi}(p)$ – передаточна функція формуючого фільтра.

В подальшому для процесу приймання молока як ОК розглядаються зовнішні впливи неконтрольованого збурення.

2.4 Реалізації моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним

в пакеті Simulink середовища Матлаб для каналів ОК розробляються схеми моделювання як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку. Моделі повинні мати один вхід, вихід моделей виводиться на графік в одній системі координат. У цю ж систему координат зводяться експериментальні дані. Для додавання в схему експериментальних даних попередньо готують експериментальні дані в табличному виді і реалізують їх у компоненті Look-Up Table.

Канал « $u_1 - T_{гп}$ »

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК:

$$W_{u_1 - T_{гп}}^o(p) = \frac{0.15 \cdot e^{-19.5p}}{3.75p + 1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку:

$$W_{u_1 - T_{гп}}^o(p) = \frac{0.15 \cdot e^{-16.5p}}{(3.125p + 1)^2}$$

Схема моделювання каналу управління ОК наведена на рис. 2.5.

Результати моделювання наведені на рис. 2.6.

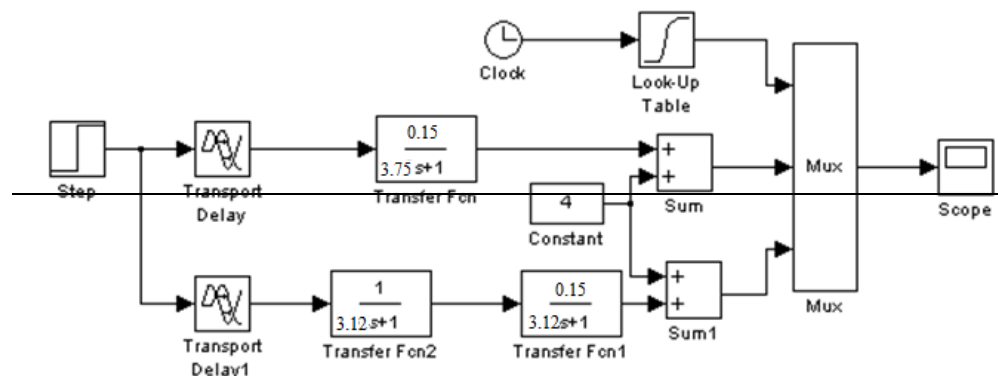


Рис. 2.5 – Схема моделювання ОК за каналом Канал « $u_1 - T_{гп}$ »

Експериментальні данні.

t, c	$T_{гп}$,	t, c	$T_{гп}$, °C
------	------------	------	---------------

	°C		
0	4	28	5.3
5	4	30	5.5
10	4		
15	4		
18	4.2		
20	4.5		
22	4.7		
24	4.9		
26	5.1		

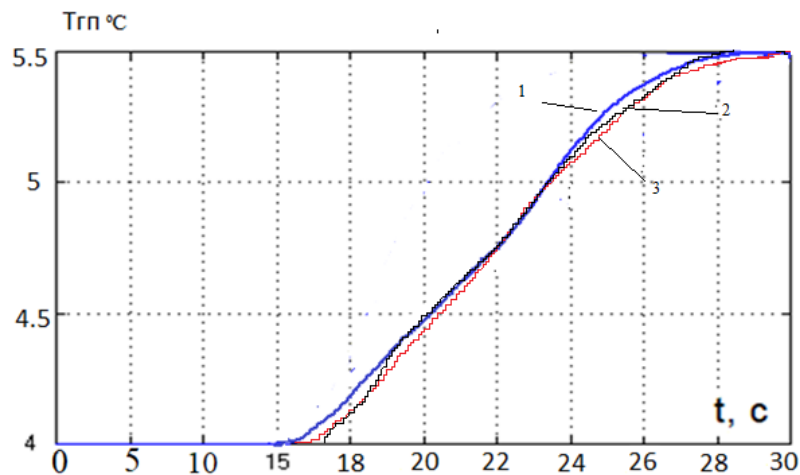


Рис. 2.6 – Результати моделювання: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

Канал « $u_2 - T_{гп}$ »

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК:

$$W_{u_2 - T_{гп}}^o(p) = \frac{0.15 \cdot e^{-11.5p}}{6.6p + 1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК:

$$W_{u_2 - T_{гп}}^o(p) = \frac{0.15 \cdot e^{-15.75p}}{(6.8p + 1)^2}$$

Схема моделювання каналу управління ОК наведена на рис. 2.7.

Результати моделювання наведені на рис. 2.8.

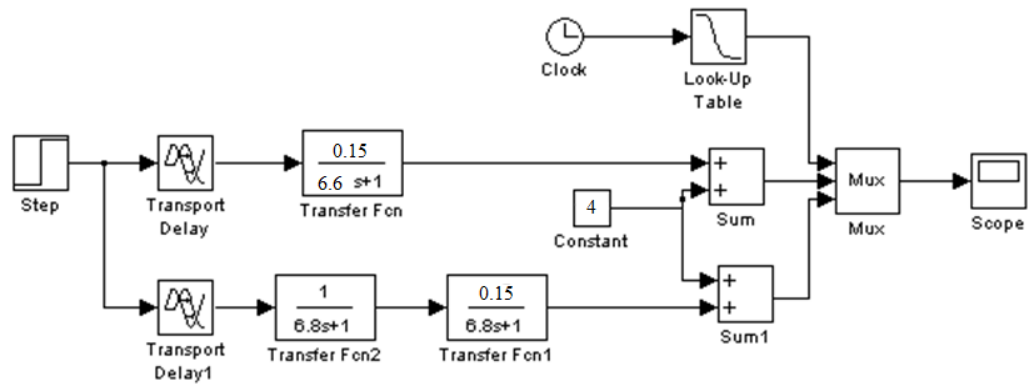


Рис. 2.7 – Схема моделювання ОК за каналом « u_2 – ТГП»

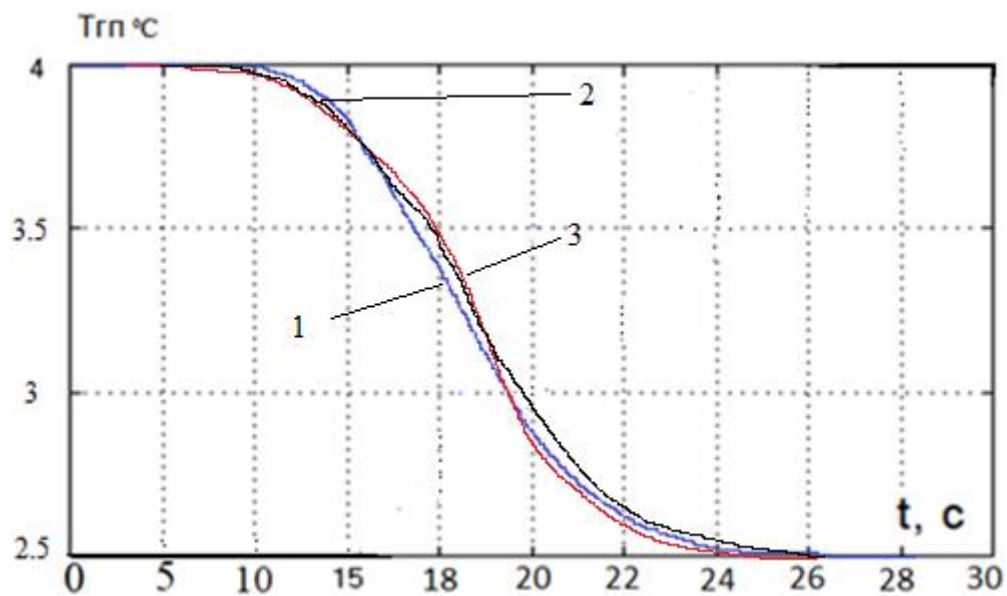


Рис. 2.8 – Результати моделювання: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

Канал Канал « u_2 – Q3»

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК:

$$W_{u_2-Q_3}^o(p) = \frac{0.15 \cdot e^{-21.2p}}{4p + 1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК:

$$W_{u_2-Q_3}^o(p) = \frac{0.15 \cdot e^{-18.5p}}{(3.125p + 1)^2}$$

Схема моделювання каналу управління ОК наведена на рис. 2.9.

Результати моделювання наведені на рис. 2.10.

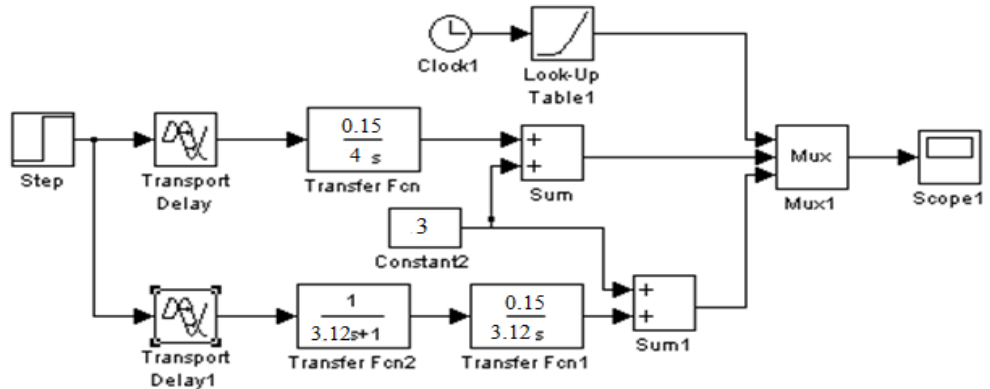


Рис. 2.9 – Схема моделювання ОК за каналом $u_2 - Q_3$

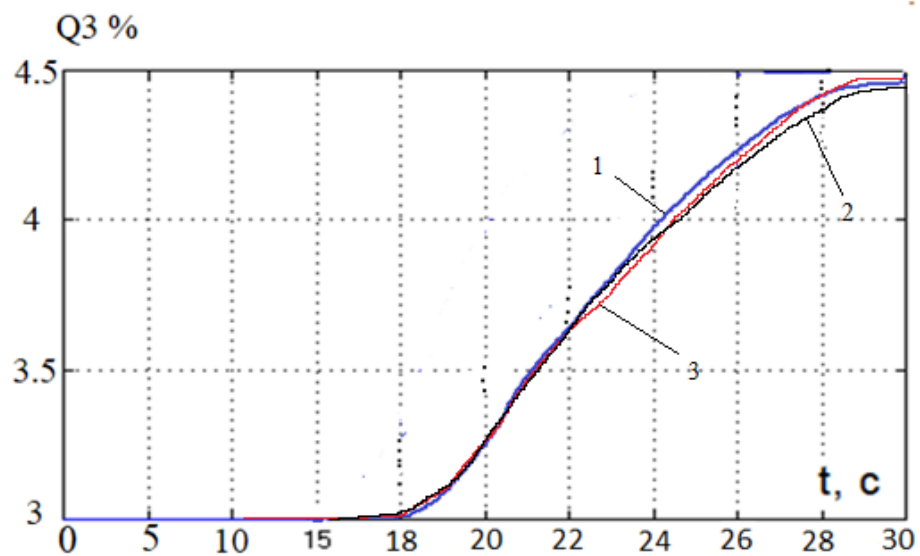


Рис. 2.10 – Результати моделювання: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

Моделі статичних характеристик:

$$T_{гп} = 0,04 \cdot u_1 + 0,02 \cdot u_2 + 5.2$$

$$Q_3 = 0,03 \cdot u_1 + 1.83$$

Для виконання цього розділу роботи скористаємося можливостями

додатка MS Excel. Експериментальні дані для перевірки моделі статички наведені в таблиці 2.1.

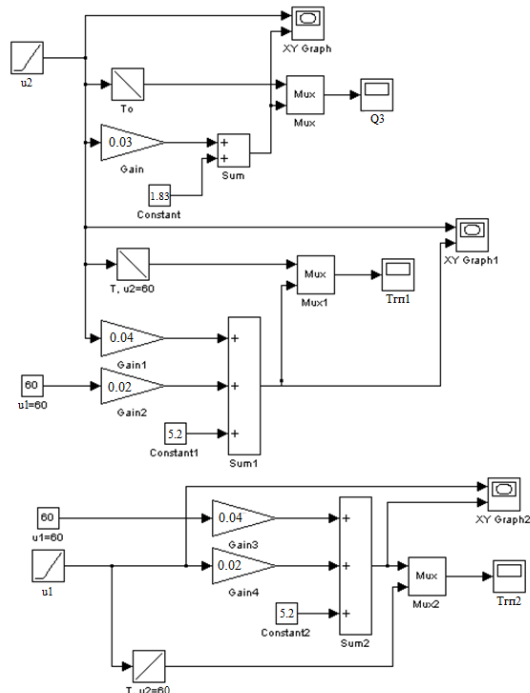
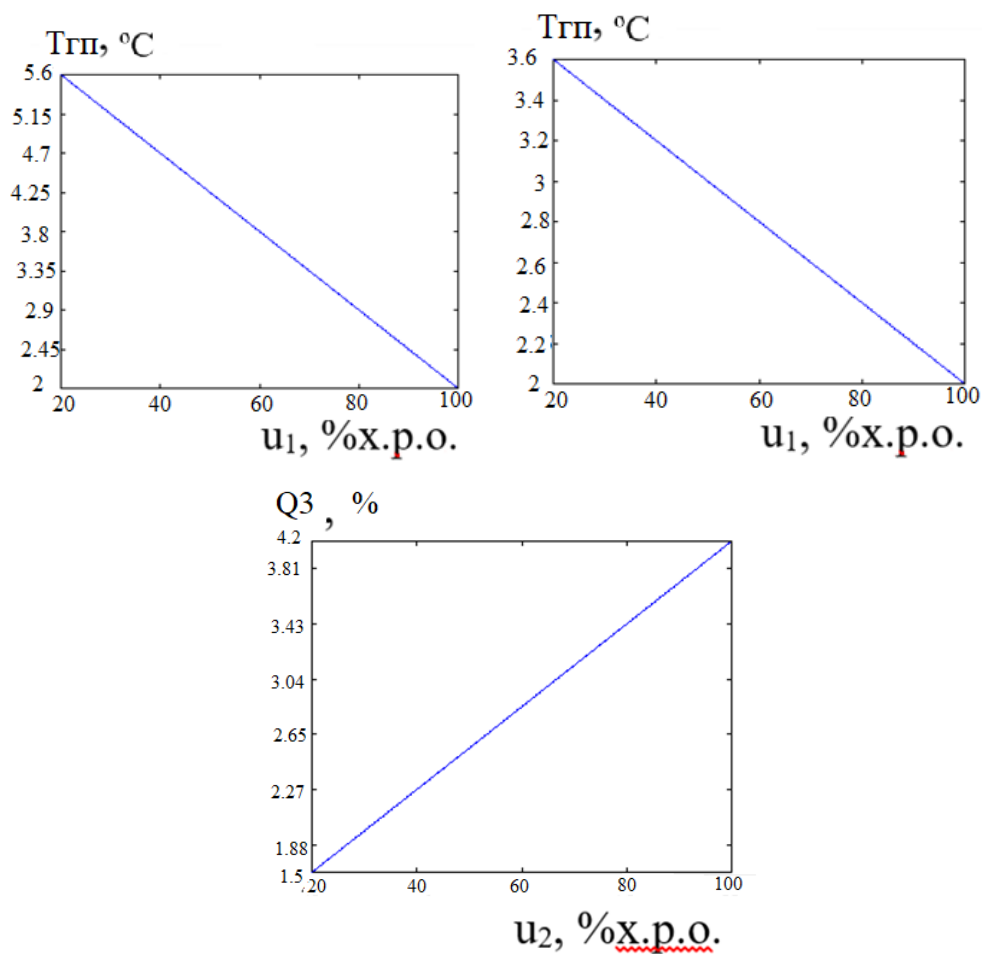


Рис. 2.11 – Схема моделювання у середовищі Matlab Simulink.



Якщо статичні характеристики є нелінійними

u_1 , %х.р.о.	u_3 , %х.р.о.	u_2 , %х.р.о.	$T_{гп1}$, °C	$T_{гп2}$, °C	Q_3 , %
60	0	60	4	1.6	3
70	60	70	4.4	4	3.3
80	60	80	4.8	4	3.6
90	60	90	5.2	4	3.9
100	60	100	5.6	4	4.2
0	60	0	1.6	4	0
10	60	10	2	4	1.5
20	60	20	2.4	4	1.8
30	60	30	2.8	4	2.1
40	60	40	3.2	4	2.4
50	60	50	3.6	4	2.7

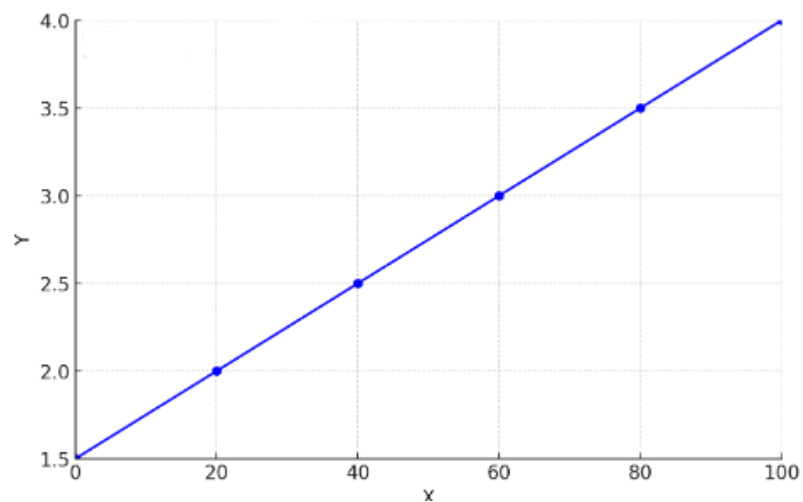


Рис. 2.12 — Залежність $T_{гп1}$ від u_1 при $u_2 = 60$ %х.р.о., $u_3 = 60$ %х.р.о.

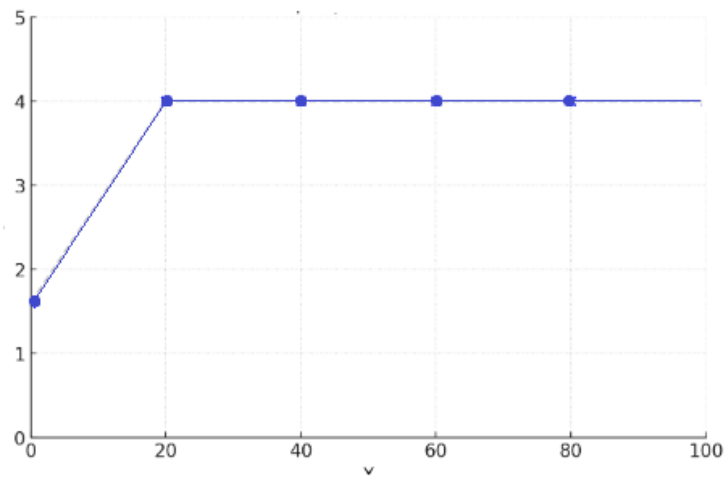


Рис. 2.13 — Залежність $T_{гп2}$ від u_2 при $u_1 = 60$ %х.р.о., $u_3 = 60$ %х.р.о.

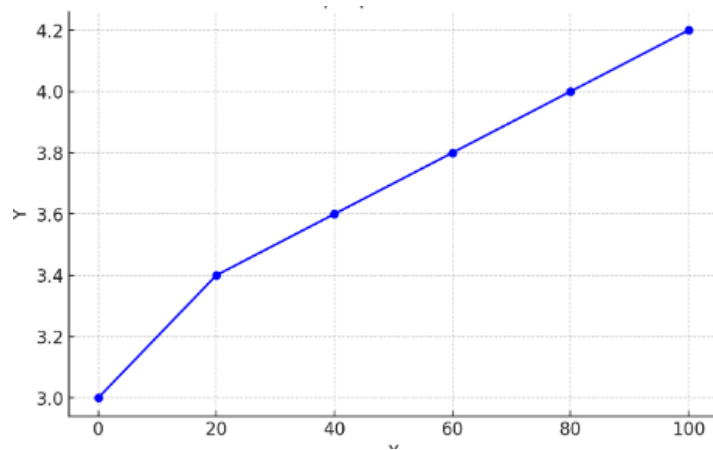


Рис. 2.14 — Залежність Q_3 від u_3 при $u_1 = 60$ %х.р.о., $u_2 = 60$ %х.р.о.

2.5 Висновок за розділом

У процесі виконання даного етапу роботи було встановлено, що ефективність реалізації технологічного процесу значною мірою визначається точністю підтримання режимного параметра. Об'єкт за всіма каналами характеризується статичними властивостями та найбільш адекватно описується моделями другого порядку.

Для ідентифікації моделей каналів об'єкта управління, доступних для цілеспрямованого впливу, застосовувався метод активного експерименту з подачею ступінчастого сигналу на вхід. Параметрична ідентифікація виконувалася за методикою двох характерних точок як для моделей першого, так і другого порядку.

Ідентифікація каналу об'єкта управління, недоступного для цілеспрямованого впливу (каналу контрольованого збурення), проводилася за спрощеною схемою — також із використанням методу двох спільних точок за методикою Мініної.

Отримані моделі були відтворені в середовищі імітаційного моделювання MATLAB. У подальшому ці моделі планується використовувати для синтезу та аналізу систем автоматичного регулювання з підвищеною динамічною точністю в технологічному процесі приймання молока.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТА ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМИ РЕГУЛЮВАННЯ, ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ САР

3.1 Конкретизація завдань регулювання процесу приймання молока

Загальною задачею керування є керування продуктовими та енергетичними потоками для отримання властивостей продукту необхідного виду і якості.

Із загальної мети керування можна виділити окремі задачі:

- підтримання вихідних змінних об'єкту керування ($T_{гп}$ та Q_3) на їх заданих значеннях ($T_{гп}^{здн}$ та $Q_3^{здн}$) - задача регулювання;
- пристосування в процесі роботи об'єкта керування до його змінних властивостей завданням - задача адаптації;
- забезпечення найкращих (оптимальних) в певному (заданому) сенсі режимів роботи об'єкта керування - задача оптимізації;
- забезпечити включення і відключення при пусках, зупинках, аварійних ситуаціях - задача логічного керування.
- Необхідно і доцільно автоматизувати кожен із задач керування.
- Для задачі регулювання автоматизація необхідна для автоматичного регулювання заданої змінної в околиці бажаного значення із заданою точністю без фізичної участі людини. Для якісної та економічно доцільною реалізації технологічного процесу приймання молока необхідно регулювати температуру готового продукту $T_{гп}$, та щільність молока Q_3 .
- Для задачі адаптації слід автоматизувати пристосування в процесі роботи об'єкту керування до його мінливим властивостям, завданням. Розглянутий технологічний процес є об'єктом неперервної дії. Властивості продукту істотно впливають на динамічні властивості об'єкта. Але ці властивості в процесі роботи установки на тривалому інтервалі часу змінюються мало. Цю задачу можна розв'язати, міняючи (коригуючи) налаштування регуляторів у процесі роботи установки.
- Для задачі оптимізації слід автоматизувати пошук оптимального

протікання процесу, мінімізувати витрати енергії, брак продукції, збільшити продуктивність обладнання. Для процесу приймання молока цю задачу можна розв'язати, підвищивши вимоги до розв'язання задачі регулювання.

- Процес приймання молока є об'єктом неперервної дії. Для нього є характерним тривалий робочий режим, на який об'єкт виводять в дистанційному режимі. Режими пуску і зупинки є неекономічними режимами роботи установки. Підвищення економічної ефективності роботи цього процесу в режимах пуску і зупинки можна досягти, автоматизувавши ці задачі. Тому для розглянутого технологічного процесу актуальна автоматизація задачі логічного керування.

- Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів (див. Таблицю 1.1) температура готового продукту повинна підтримуватися на рівні 4 ± 3 °C. За цим параметром припустимі короточасні відхилення до ± 6 °C протягом часу не більше 60 секунд. Регламентна зона для цього параметру наведена на рисунку 3.1.

- Щільність молока повинна підтримуватися на рівні $3 \pm 5\%$. За цим параметром припустимі короточасні відхилення до $\pm 8\%$ протягом часу не більше 60 секунд. Регламентна зона для цього параметру наведена на рисунку 3.2.

Таблиця 3.1 – Таблиця регламентів

№	Найменува	Позна	Одини	Номінал	Допустимі відхилення від		
					Трива	Короткоча	Ча
1	Щільність напівпродукт	Q3	%	3	± 5	± 8	60
2	Температура готового продукту	T _{гп}	°C	4	± 3	± 6	60

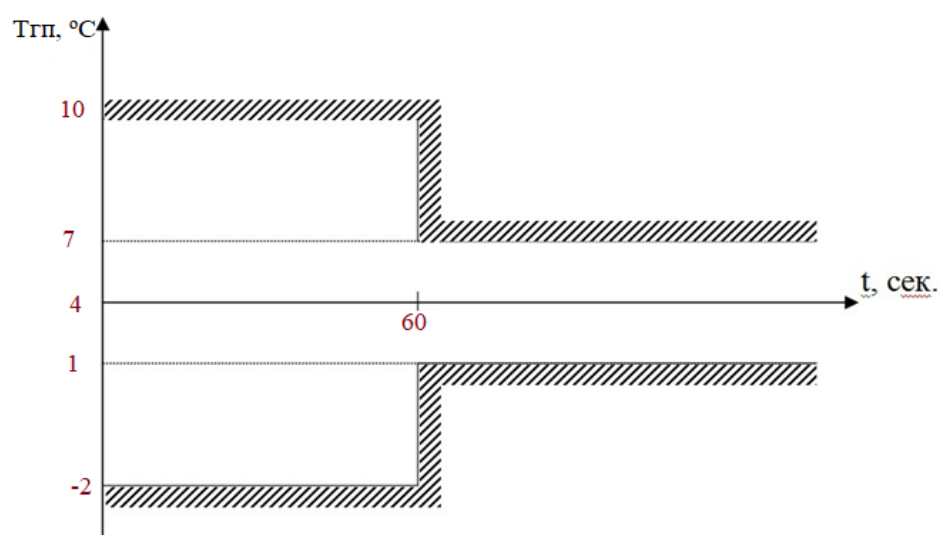


Рис. 3.1 – Регламентна зона для температури готового продукту

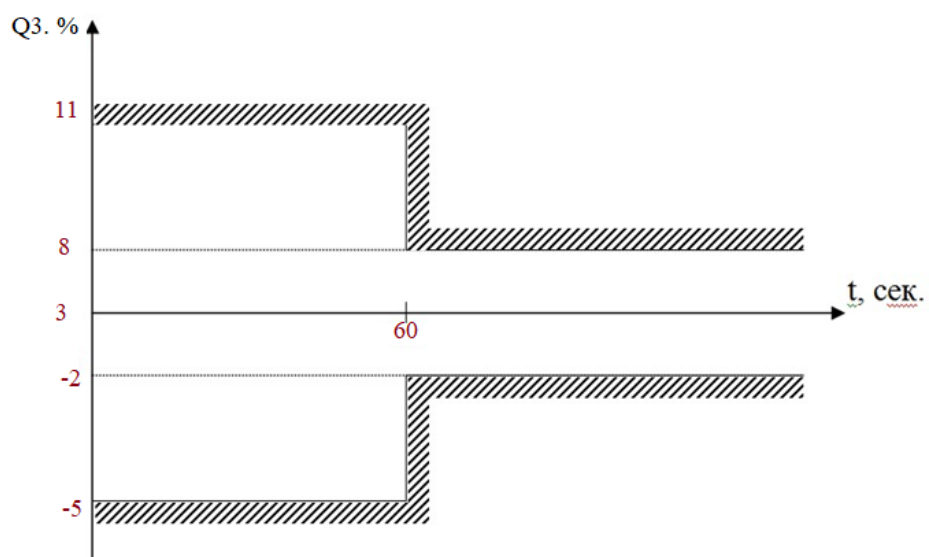


Рис. 3.2 – Регламентна зона для щільності молока

Як видно з регламентів на САР для процесу приймання молока особливо жорсткі вимоги пред'являються до тривалих відхилень, оскільки саме недотримання цих регламентів може призвести до браку готової продукції і суттєвих економічних збитків. Тому в якості критерію було обрано інтегральний модульний критерій з помилкою перерегулювання в 20%, тому що чим більший перехідний процес, тим більше значення критерію, а якщо підібрати перехідний процес, який буде відповідати мінімальному значенню критерію, то цей процес буде з мінімальною тривалістю.

$$J = \int_0^{t_M} \left(\left| \frac{\Delta M(t)}{2} \right| + \left| \frac{\Delta I(t)}{5} \right| \right) \cdot dt$$

Основу керування становить інформація про мету управління або про бажаний стан ОК ($Q3^{ЗДН}$, $T_{гп}^{ЗДН}$), про поточний стан ОК ($Q3$, $T_{гп}$) і про збурення f_1 , f_2 . В залежності від об'єму використаної керуючим пристроєм (КП) інформації про ОК виділяють чотири принципи побудови САР: принцип розімкненого жорсткого (програмного) керування; принцип розімкненого керування за збуренням; принцип замкненого керування станом ОК або керування зі зворотнім зв'язком; комбінований принцип керування.

Для САР процесу приймання молока доступною, крім інформації про бажаний стан ОК, є інформація про поточний стан ОК. Такий обсяг інформації для формування керуючих дій достатній для реалізації замкненого принципу керування. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР приймання молока базової структури. Структурна схема цього принципу керування наведена на рисунку 3.3.

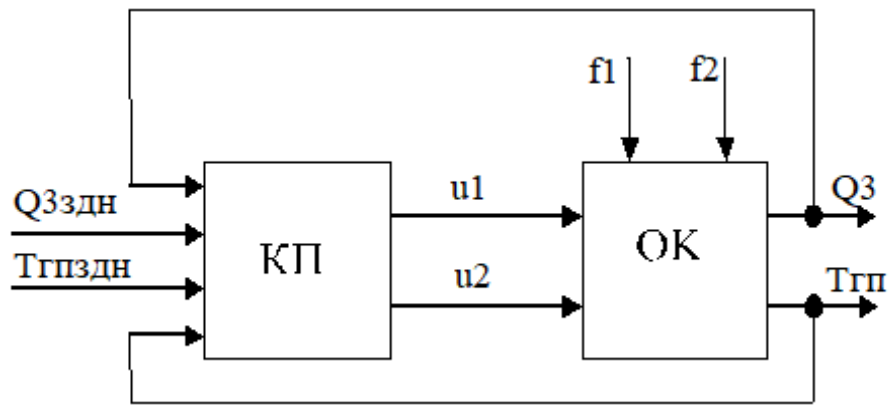


Рис. 3.3 – Структурна схема замкнутого принципу керування

3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

Структурна схема САР процесу приймання молока наведена на рис. 3.4.

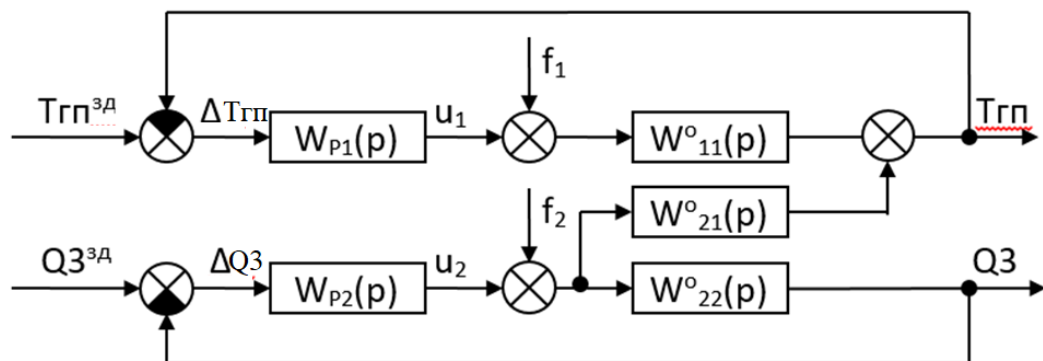


Рис 3.4 – Структурна схема САР процесу приймання молока найпростішої структури

Позначення на схемі:

$T_{гп}$ – температура готового продукту, °С;

$Q3$ – Щільність напівпродукту, %;

u_1, u_2 – регулюючі дії (u_1 – відкриття регулюючого органу подачі холодної води

; u_2 – відкриття регулюючого органу подачі напівпродукту), % х.р.о.;

f_1, f_2 – неконтрольовані збурення;

$W_{p1}(p), W_{p2}(p)$ – передаточні функції регуляторів; $T_{гп}^{здн}, Q3^{здн}$ – задані

значення регульованих координат; $\Delta T_{гп}$, ΔQ_3 – помилки регулювання.

В інженерній практиці при керуванні технологічними процесами в більшості випадків використовують типові алгоритми регулювання або регулятори. До них відносяться пропорційний (П), пропорційно-інтегральний (ПІ), пропорційнодиференціальний (ПД) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання. Якщо ОК за каналами керування має статичні властивості, то П- і ПД-алгоритми регулювання у складі САР дають помилку статизму. При цьому найчастіше статична точність таких САР неприйнятна. Іскладова усуває помилку статизму, але істотно знижує швидкодію регулювання. Якщо канали ОК є статичними, то рекомендується використовувати алгоритми регулювання з І-складової, тобто ПІ і ПІД.

Процес приймання молока за всіма каналами має статичні властивості, тому в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання вибираємо пропорційноінтегральний (ПІ) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання.

Рівняння руху ПІ-регулятора

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

Передаточна функція ПІ-регулятора

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

Рівняння руху ПІД-регулятора

t

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

Передаточна функція ПД-регулятора

$$W_p(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{I3}p} + T_{упр}\right)$$

$$J = \int_0^{t_M} \left[(\Delta\theta_o(t))^2 + \frac{(\Delta\theta(t))^2}{2} \right] dt$$

В результаті виконання курсової роботи з дисципліни «Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів» була проведена ідентифікація моделей каналів перетворення координатних дій технологічного процесу приймання молока.

У відповідності до структурної схеми САР (рис. 3.4) схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 3.5, з ПД-регулятором – на рис. 3.6, а блоку на 3.7.

ОК, який є моделлю ОК, наведена на рис. 5.4.

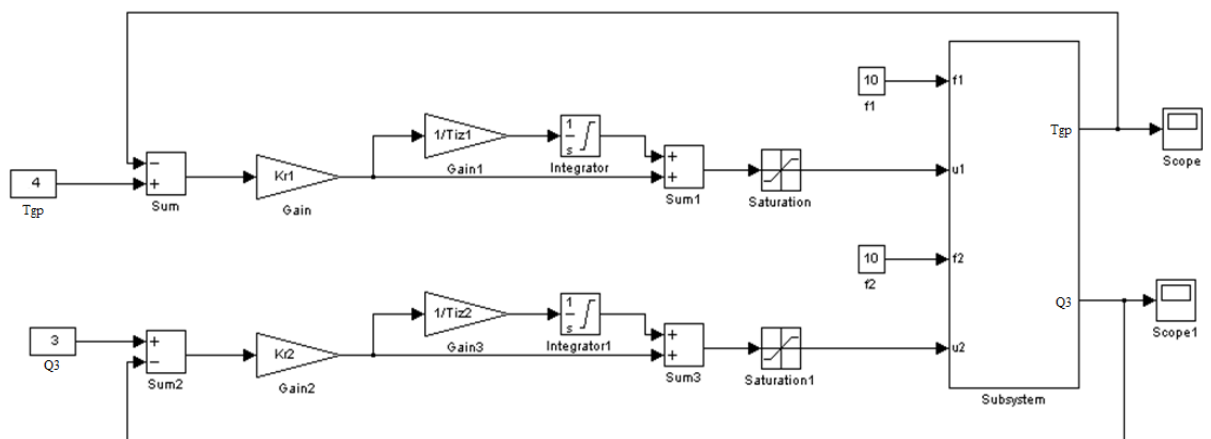


Рис. 3.5 – Схема моделювання САР з ПІ-регулятором

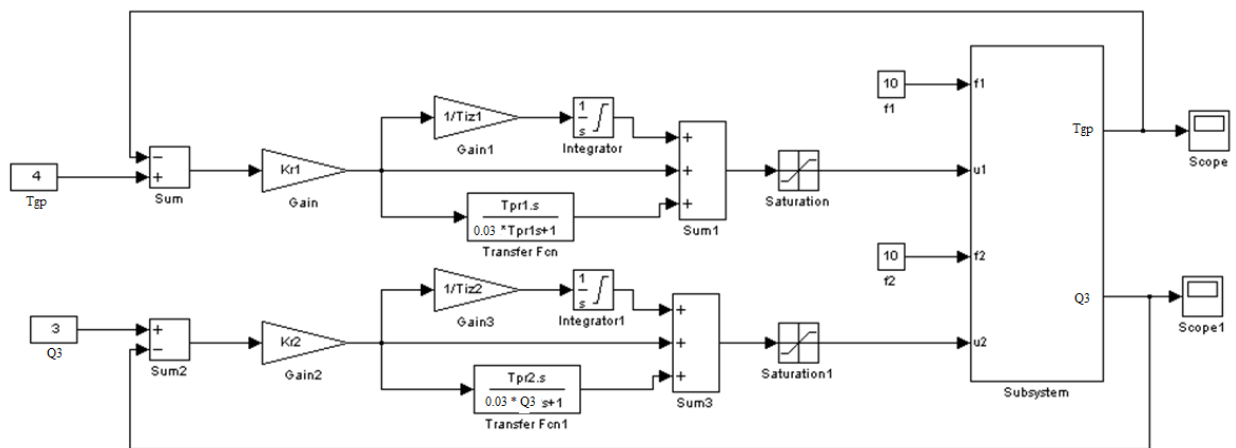


Рис. 3.6 – Схема моделювання САР з ПД-регулятором

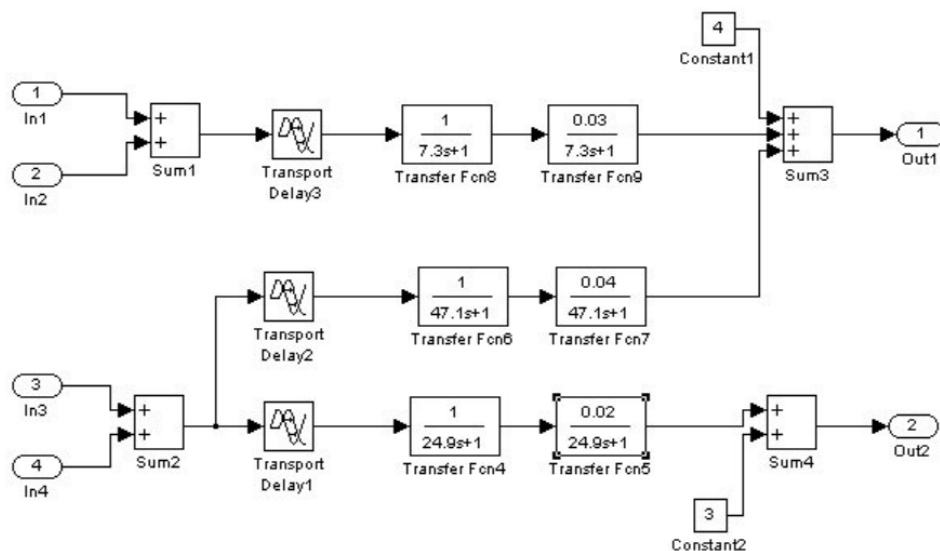


Рис. 3.7 – Схема моделювання ОК

Розрахунок налаштувань ПІ-регуляторів

Регулятор $W_{P1}(p)$

$$K_{P1} = \frac{1,1 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,1 \cdot 11,7}{0,03 \cdot 15} = 28,6\% \text{х.p.o. } / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I31} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 15 = 30 \text{ с}$$

Регулятор $W_{P2}(p)$

$$K_{P2} = \frac{1,1 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,1 \cdot 33,6}{0,02 \cdot 58,3} = 31,7\% \text{х.p.o. } / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I32} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 58,3 = 116,6 \text{ с}$$

Розрахунок налаштувань ПІД-регуляторів

Регулятор $W_{P1}(p)$

$$K_{P1} = \frac{1,2 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,2 \cdot 11,7}{0,03 \cdot 15} = 31,2 \% \text{х.р.о.} / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I31} = 1,4 \cdot \tau_O = 1,4 \cdot 15 = 21 \text{ с}$$

$$T_{УП1} = 1,0 \cdot \tau_O = 1,0 \cdot 15 = 15 \text{ с}$$

Регулятор $W_{P2}(p)$

$$K_{P2} = \frac{1,2 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,2 \cdot 33,6}{0,02 \cdot 58,3} = 34,58 \% \text{х.р.о.} / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I32} = 1,4 \cdot \tau_O = 1,4 \cdot 58,3 = 81,6 \text{ с}$$

$$T_{УП2} = 1,0 \cdot \tau_O = 1,0 \cdot 58,3 = 58,3 \text{ с}$$

Для оптимального параметричного синтезу САР температури готового продукту та щільності напівпродукту з ПІ-регуляторами будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.8. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регуляторів наведені на рис. 3.9.

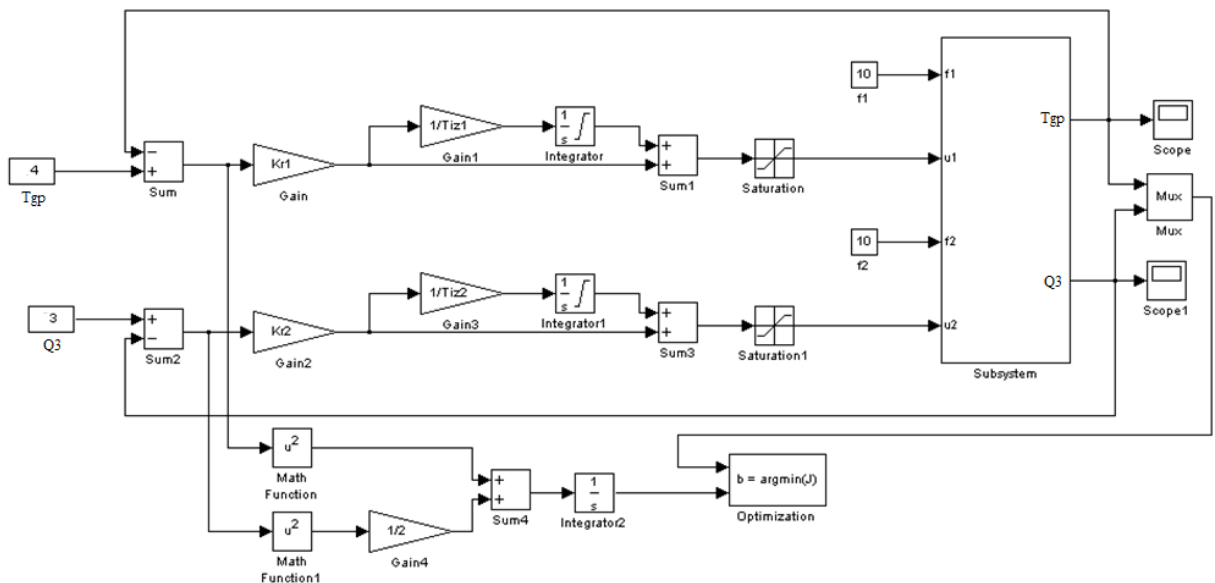


Рис. 3.8 – Структурна схема моделювання для САР з ПІ-регуляторами для оптимального параметричного синтезу

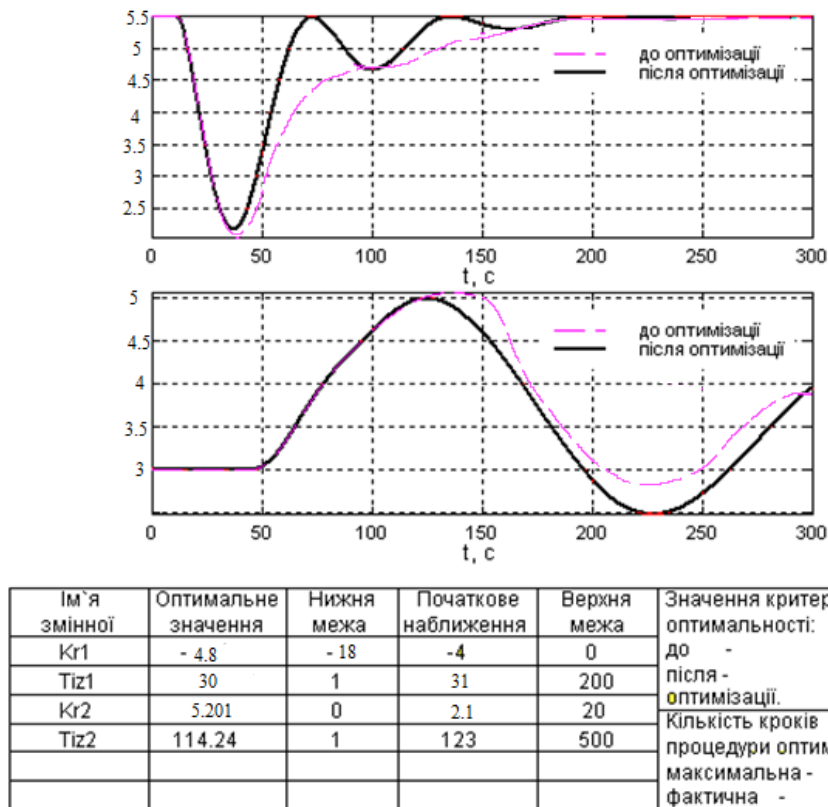


Рис. 3.9 – Результати оптимізації параметрів ПІ-регуляторів

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІ-регуляторами до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведено в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати порівняння САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІ-регулятором	$\Delta T_{\Gamma}^{\text{MAX}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп1}}, \text{c}$	$\Delta Q^{\text{MAX}}, \%$	$T_{\text{пп2}}, \text{c}$	Критерій
до оптимізації	4,65	193,1	3,45	60	275,4
після оптимізації	4,54	64,29	3,15	41,1	163,9

Для оптимального параметричного синтезу САР з ПІД-регуляторами будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.10. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регуляторів наведені на рис.

3.11.

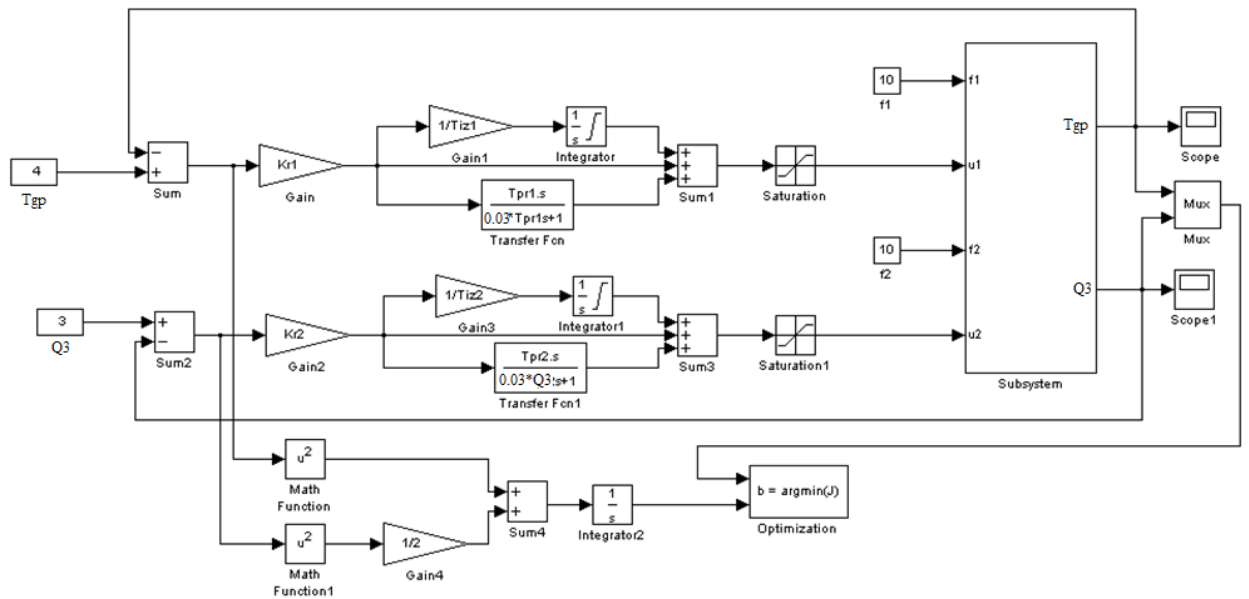
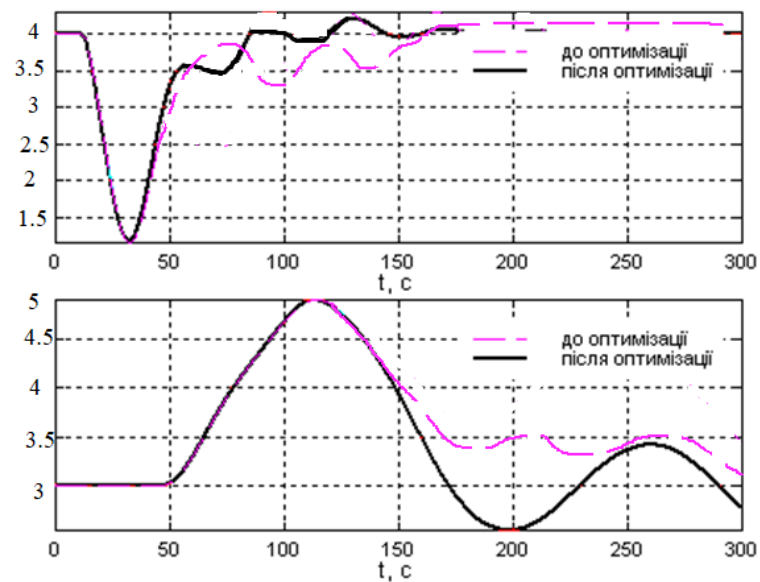


Рис. 3.10 – Структурна схема моделювання для САР з ПІД-регуляторами для оптимального параметричного синтезу



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	-5.78	-18	- 3.7	0	до - 189.731
Tiz1	18.1241	1	3.1	200	після - 132.642
Tpr1	9.87345	0	15	50	оптимізації.
Kr2	7.463	0	2	20	Кількість кроків процедури оптимізації:
Tiz2	21.4563	1	86	500	максимальна - 1000
Tpr2	39.5364	0	59.3	200	фактична - 475

Рис. 3.11 – Результати оптимізації параметрів ПД-регуляторів Порівняємо перехідні процеси в САР з ПД-регулятороами до і післяоптимізації за інтегральним і прямими показниками якості.

Таблиця 3.3 – Результати порівняння САР з ПД- регуляторами до і після оптимізації

САР з ПД-регулятором	$\Delta T_{гп}^M$ $^{AX}, ^\circ C$	$T_{пп}$ 1, с	ΔQ_3^M $^{AX}, \%$	$T_{пп}$ 2, с	Крите рій
до оптимізації	4,5211	134, 1	3,63	50,1 1	189,73 1
після оптимізації	4,49	43,2 3	3,46	33,3 6	132,64 2

Для проведення порівняльного аналізу САР з ПІ- і ПД-регуляторами будемо використовувати структурну схему моделювання, рис. 3.12

Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.13 і в таблиці 3.4.

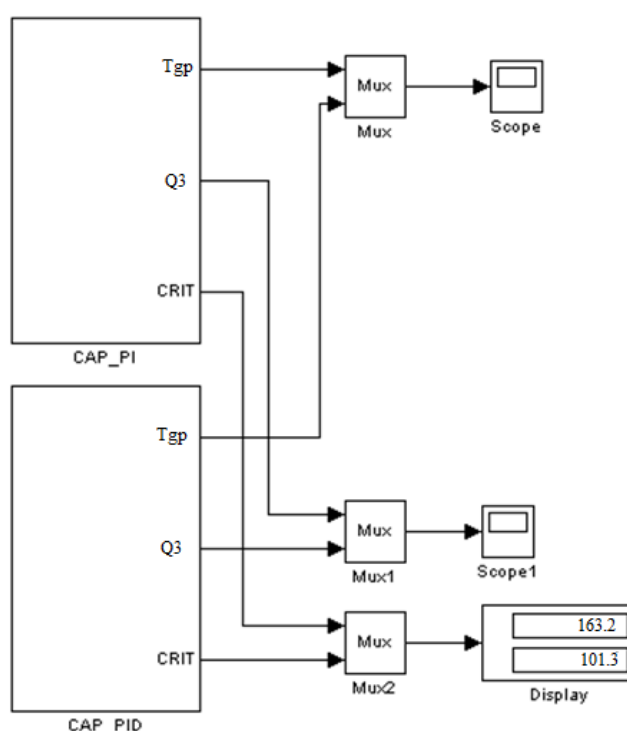


Рис. 3.12 – Структурна схема моделювання для порівняння САР з ПІ- та

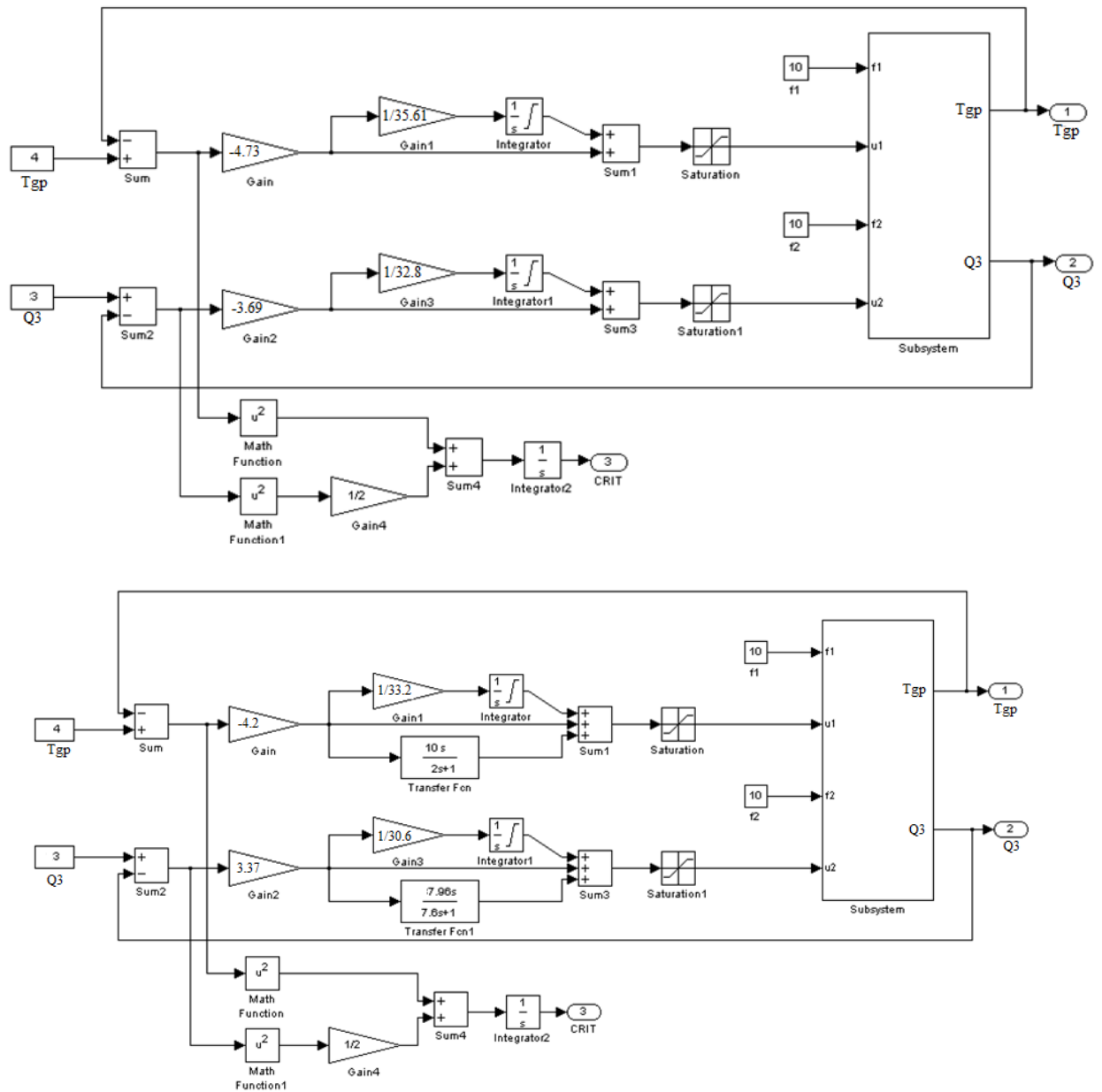


Рис. 3.13 (закінчення) – Структурна схема моделювання для порівняння САР з ПІ- та ПД-регуляторами

Таблиця 3.4 – Результати порівняння САР з ПІ- і ПД- регуляторами

САР	$\Delta M^{\text{MAX}}, \%$	$T_{\text{пш1}}, \text{с}$	$\Delta I^{\text{MAX}}, \text{А}$	$T_{\text{пш2}}, \text{с}$	Критерій
з ПІ-регуляторами	4,54	64,29	3,15	41,1	1639
з ПД-регуляторами	4,49	43,23	3,46	33,36	132,642

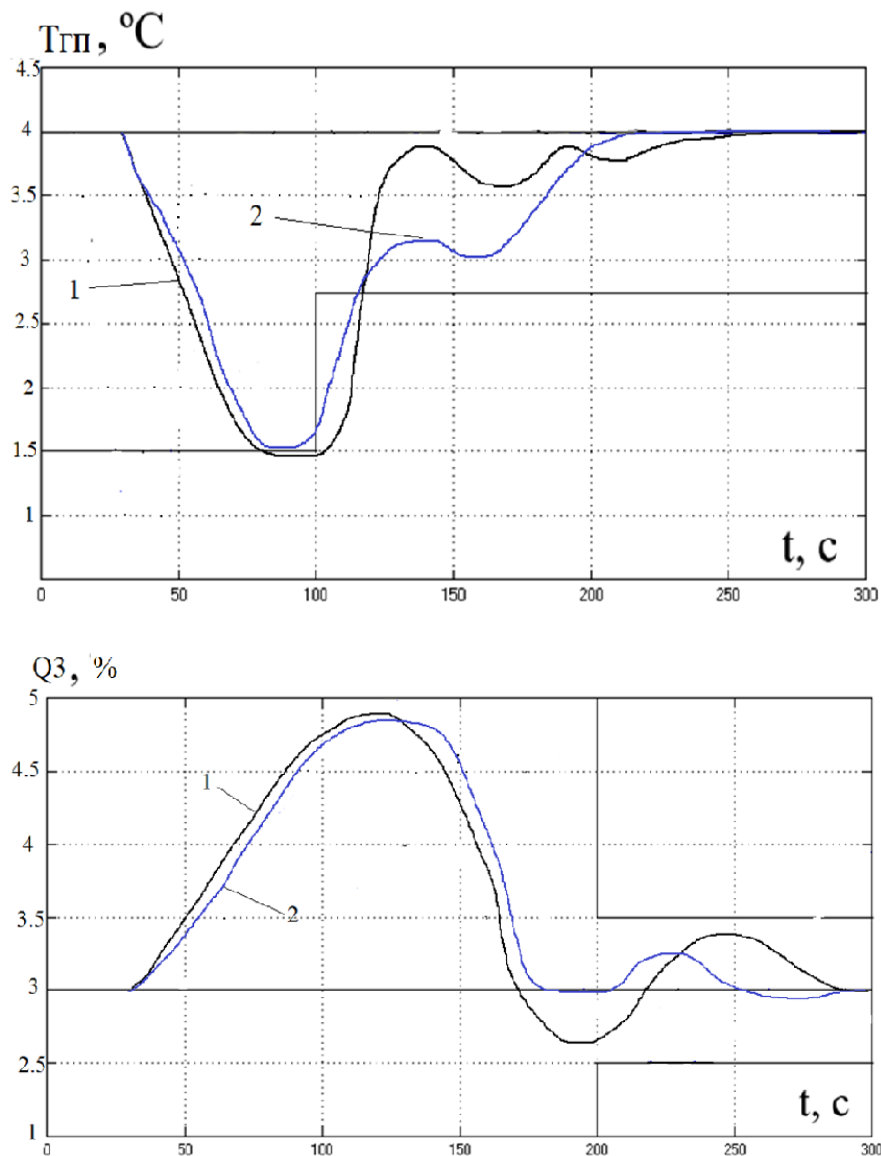


Рис. 3.14 – Результати порівняння варіантів САР найпростішої структури:
1 – САР з ПІ-регуляторами; 2 – САР з ПД-регуляторами

Як видно з результатів роботи САР, за М САР задовольняє гранично припустимим вимогам, за І САР з ПІ-регуляторами не задовольняє гранично-припустимим вимогам, а з ПД-регуляторами – задовольняє.

В процесі роботи клапану подачі води може змінюватися час запізнення в

каналах ОК. Слід зазначити, що внаслідок нелінійності, параметри каналів можуть варіювати в межах до $\pm 20\%$. При цьому дослідження САР на грубість будемо проводити в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень 10% х.р.о.

Результати оцінки САР з ПІ-регуляторами на грубість наведені на рис. 3.15, а САР з ПІД-регуляторами - на рис. 3.16.

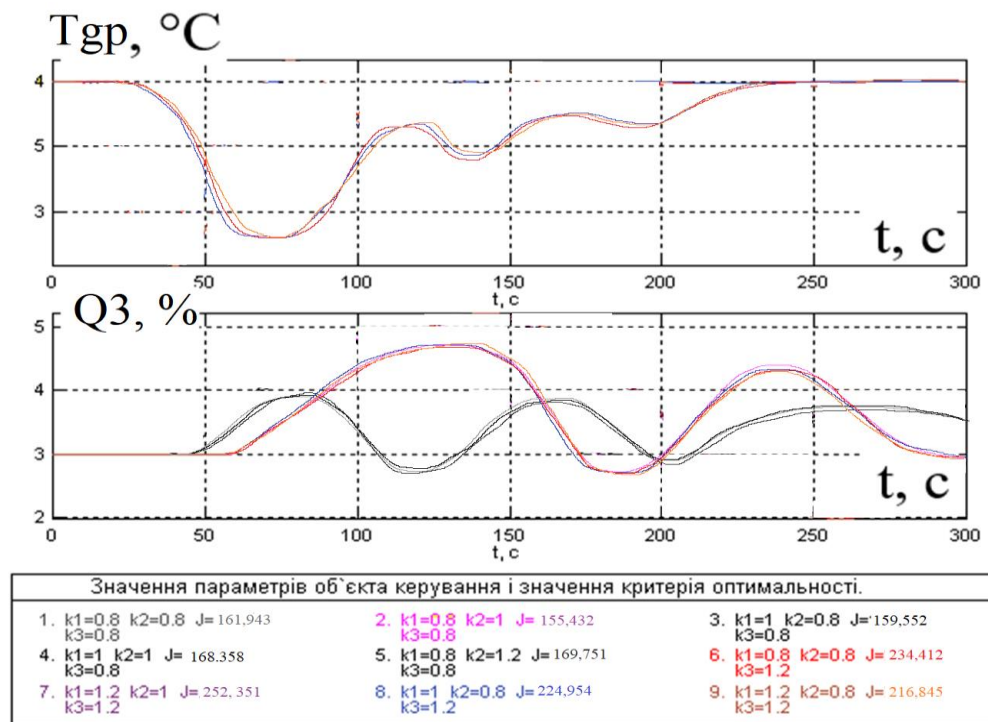


Рис. 3.15 – Результати перевірки САР з ПІ-регуляторами на грубість

Результати перевірки САР з ПІД-регуляторами на грубість

Як видно з результатів, САР і з ПІ-регуляторами, і з ПІД-регуляторами є грубою, оскільки в умовах варіації параметрів ОУ дає перехідні процеси, що сходяться.

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, "найгіршим" для керування поєднанням параметрів ОК є більші на 20% часи запізнення в прямих каналах ОК та менше на 20% запізнення в перехресному каналі. "Найкращим" для керування поєднанням є на 20% менші часи запізнення.

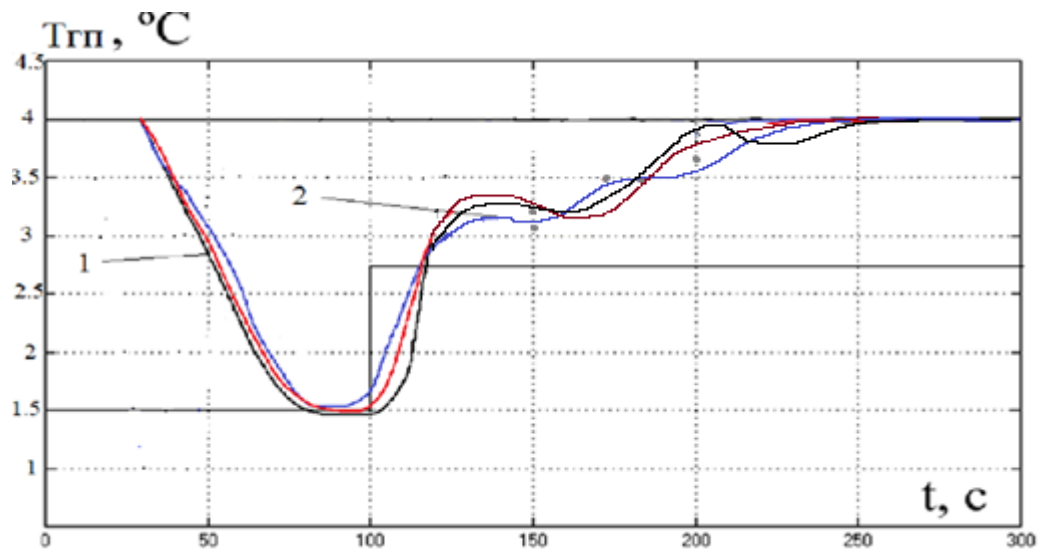


Рис. 3.16 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІ-регуляторами та з параметрами ОК: 1 – номінальними; 2 – «сприятливі» для керування; 3 – «несприятливі» для керування

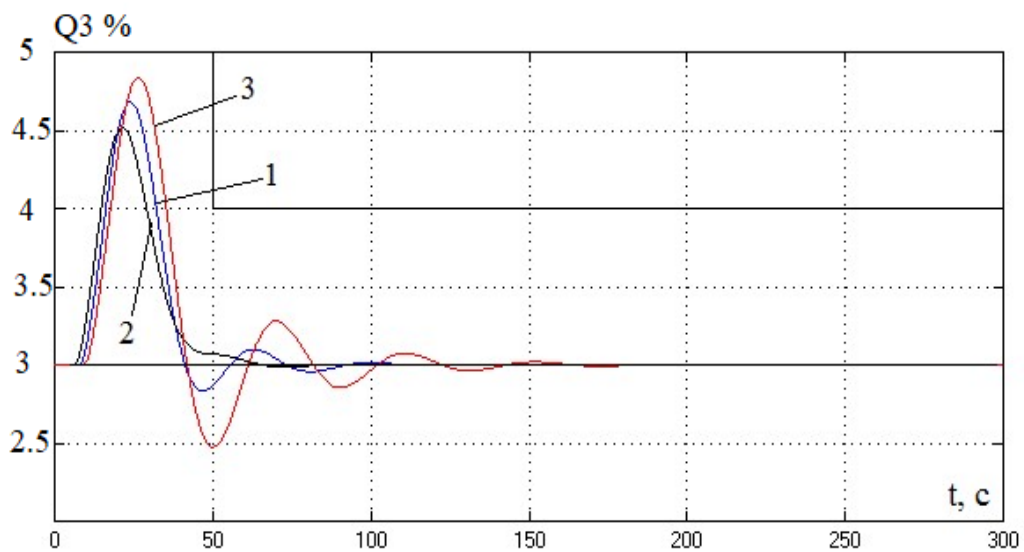


Рис. 3.17 (закінчення) – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІ-регуляторами та з параметрами ОК: 1 – номінальними; 2 – «сприятливі» для керування; 3 – «несприятливі» для керування

Схема моделювання САР базової структури з ПІД-регуляторами для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОК "сприятливими" і "несприятливими" для керування.

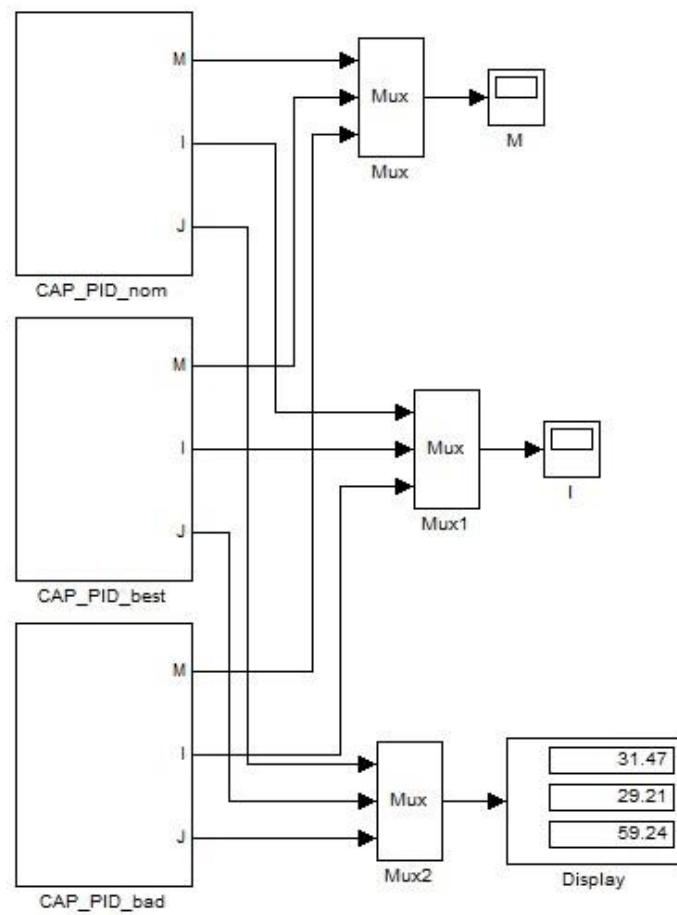
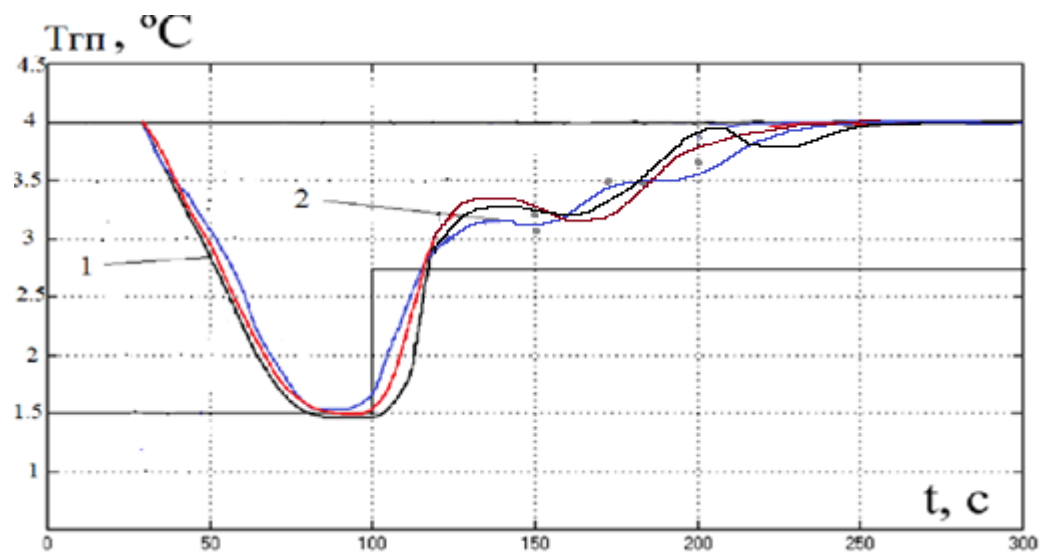


Рис. 3.18 – Схема моделювання для порівняння варіантів САР з ПІД-регулятором



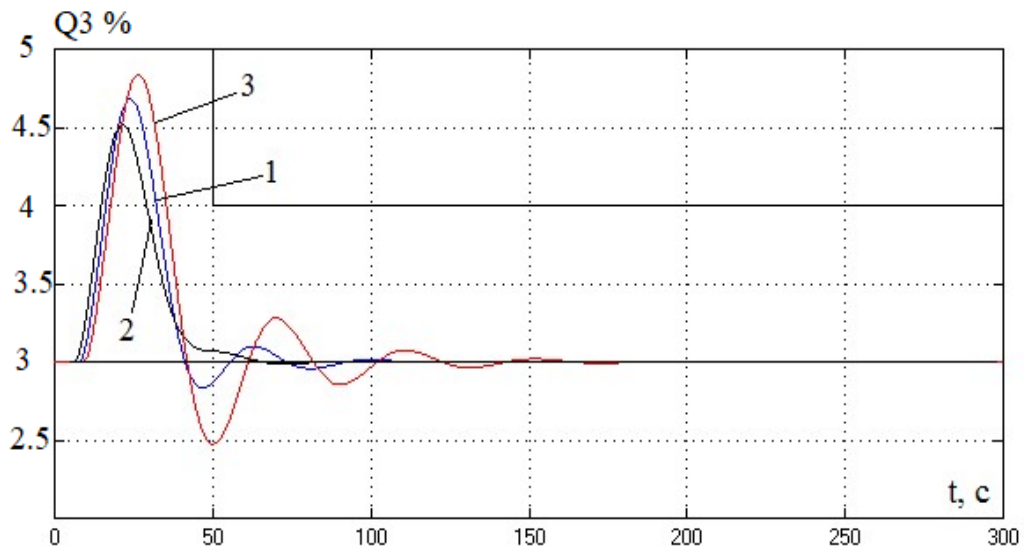


Рис. 3.19 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПД-регуляторами та з параметрами ОК: 1 – номінальними; 2 – «сприятливі» для керування; 3 – «несприятливі» для керування

3.3 Структурно-параметричний синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності

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

У нашому випадку основною причиною недостатньої динамічної точності САР є дія каналу « $u_2 - T_{гп}$ ». Основним шляхом підвищення динамічної точності є введення в структуру корегуючого зв'язку, що забезпечує автономність системи.

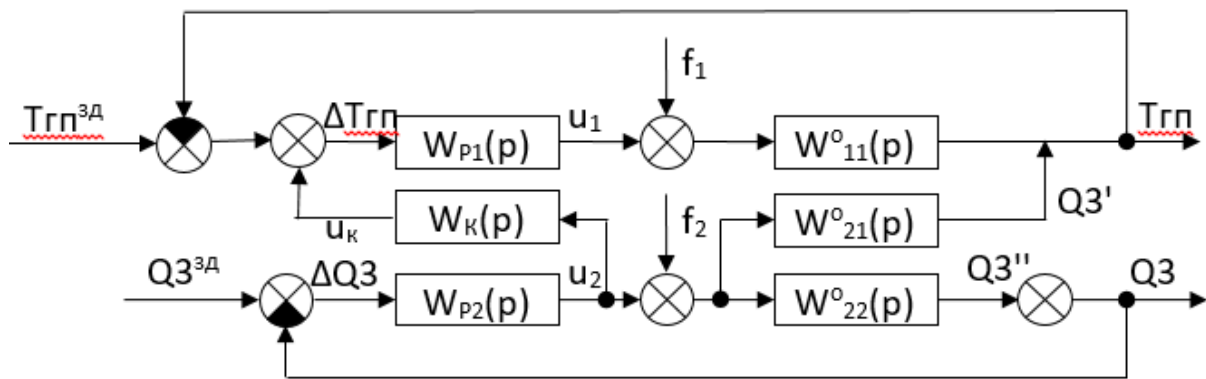


Рис. 3.22 – Структурна схема САР автономної структури Позначення на схемі:

$T_{гп}$ – температура готового продукту, °C;

$Q3$ – щільність напівпродукту %;

u_1, u_2 – регулюючі дії (u_1 – ступінь відкриття регулюючого органу подачі холодної води; u_2 – ступінь відкриття регулюючого органу подачі напівпродукту), % х.р.о.;

u_K – коригуючий сигнал; f_1, f_2 – неконтрольовані збурення;

$W_{p1}(p), W_{p2}(p)$ – передаточні функції регуляторів;

Виведемо передаточну функцію коригуючого зв'язку.

$$T_{гп}' + T_{гп}'' = \theta = 0$$

$$T_{гп}' = u_2 \cdot W_{21}^O(p); \quad T_{гп}'' = u_2 \cdot W_K(p) \cdot W_{p1}(p) \cdot W_{11}^O(p)$$

$$u_2 \cdot W_{21}^O(p) + u_2 \cdot W_K(p) \cdot W_{p1}(p) \cdot W_{11}^O(p) = 0$$

$$u_2 \cdot W_K(p) \cdot W_{p1}(p) \cdot W_{11}^O(p) = -u_2 \cdot W_{21}^O(p)$$

$$W_K(p) = - \frac{W_{21}^O(p)}{W_{p1}(p) \cdot W_{11}^O(p)}$$

$$W_{21}^O(p) = \frac{0.04 \cdot e^{-82.1p}}{53.4p+1}$$

$$W_{22}^O(p) = \frac{0.02 \cdot e^{-58.3p}}{33.6p+1};$$

$$W_{p1}(p) = 3,31 \cdot \left(1 + \frac{1}{39,7p} + 36p\right) = 3,31 \cdot \frac{39,7 \cdot 36 \cdot p^2 + 39,7p + 1}{39,7p}$$

$$= 3,31 \cdot \frac{1341,2p^2 + 39,7p + 1}{39,7p}$$

$$W_K(p) = - \frac{W_{21}^o(p)}{W_{p1}(p) \cdot W_{11}^o(p)} = - \frac{\frac{0,04 \cdot e^{-82,1p}}{53,4p + 1}}{3,31 \cdot \frac{1341,2p^2 + 39,7p + 1}{39,7p} \cdot \frac{0,02 \cdot e^{-58,3p}}{33,6p + 1}}$$

$$= - \frac{0,04 \cdot e^{-82,1p}}{53,4p + 1} \cdot \frac{e^{-82,1p}}{e^{-58,3p}} \cdot \frac{39,7p \cdot (33,6p + 1)}{(53,4p + 1) \cdot (1341,2p^2 + 39,7p + 1)}$$

$$= 0,13 \cdot e^{-82,1p - (-58,3p)} \cdot \frac{39,7p \cdot (33,6p + 1)}{(53,4p + 1) \cdot (1341,2p^2 + 39,7p + 1)}$$

$$= 0,13 \cdot e^{-24,3p} \cdot \frac{38,3p \cdot (31,2p + 1)}{(53,4p + 1) \cdot (1341,2p^2 + 39,7p + 1)}$$

Передаточна функція коригуючого зв'язку є фізично реалізовуваною.

Структурна схема коригуючого зв'язку у виді з'єднання типових ланок наведена на рис. 3.21, а перехідна характеристика коригуючого зв'язку наведена на рис. 3.22.

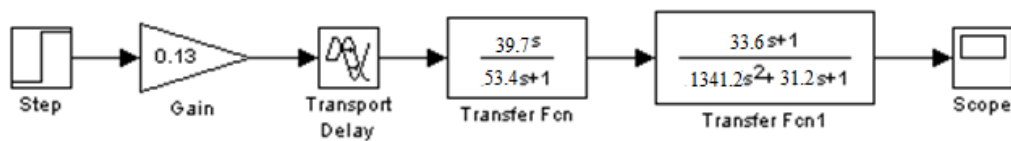


Рис. 3.21 – Структурна схема коригуючого зв'язку у виді з'єднання типових ланок

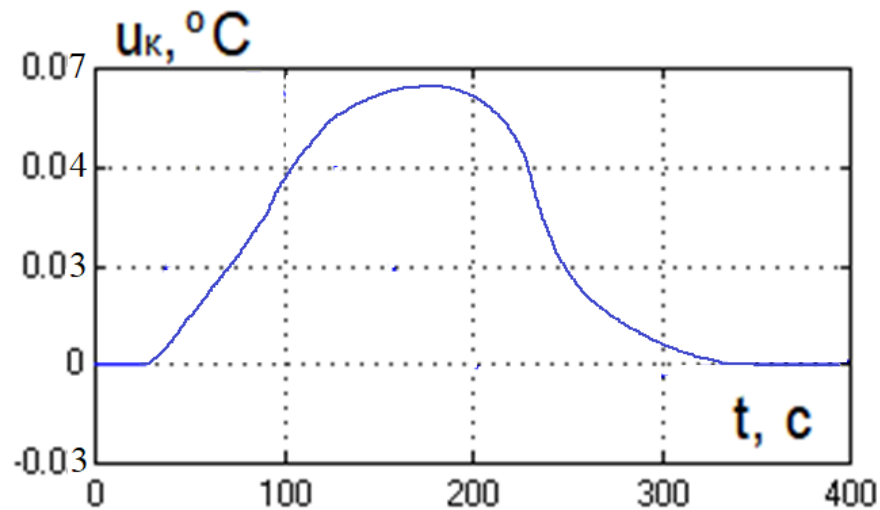


Рис. 3.22 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку. Структурна схема спрощеного коригуючого зв'язку наведена на рис. 7.4.

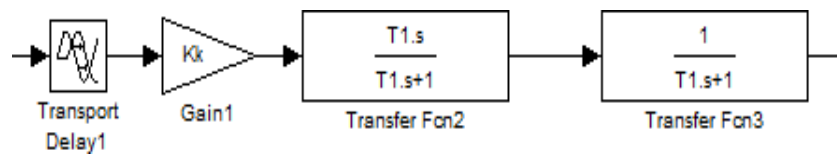


Рис. 3.23 – Структурна схема спрощеного коригуючого зв'язку

Отримана передатна функція коригуючого зв'язку представлена занадто складною передаточною функцією, тому її доцільно спростити при збереженні її диференціальних властивостей. Виходячи з перехідної характеристики та з результатів розрахунків, спростити передаточну функцію коригуючого зв'язку доцільно наступним чином:

$$0,13 \cdot e^{-24,3p} \cdot \frac{38,3p \cdot (31,2p + 1)}{(53,4p + 1) \cdot (1341,2p^2 + 39,7p + 1)}$$

$$W_K(p) = K_K \cdot e^{-T_{K2}p} \cdot \frac{T_{K1}p}{(T_{K1}p + 1)^2} = K_K \cdot e^{-T_{K2}p} \cdot \frac{T_{K1}p}{T_{K1}p + 1} \cdot \frac{1}{T_{K1}p + 1}$$

Отримаємо параметри спрощеного коригуючого зв'язку

$$K_k = 0,13; T_{k1} = 24,3; T_{k2} = 38,3.$$

В якості початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку приймемо такі значення параметрів: $K_k = 0,13$; $T_{k1} = 24,3$; $T_{k2} = 38,3$. Результати розрахунку початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку наведені на рис. 3.24, а результати порівняння розрахункового та спрощеного коригуючого зв'язку – на рис. 3.25.

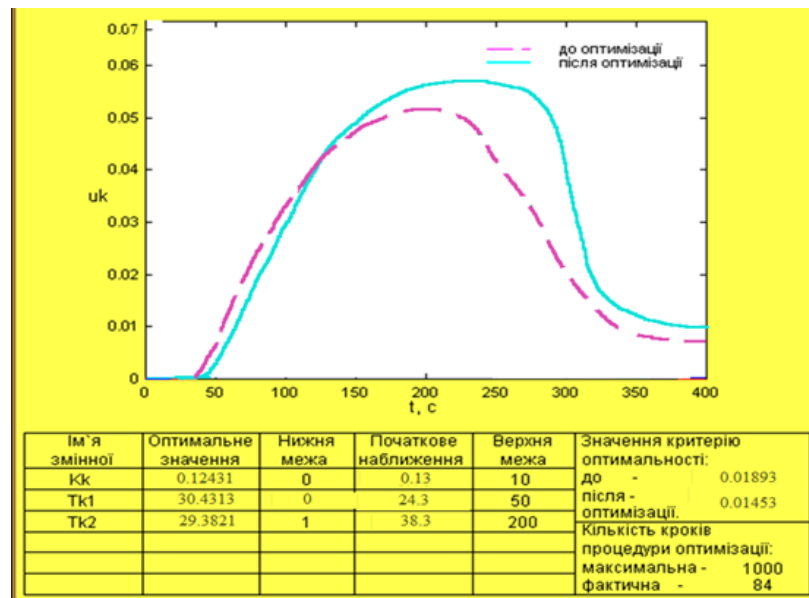


Рис. 3.24 – Результати уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку

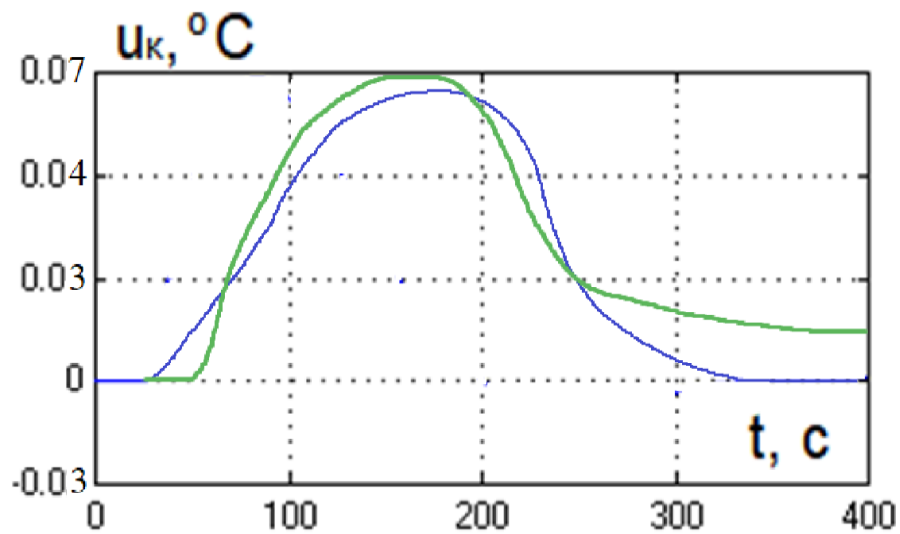


Рис. 3.25 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку: 1 – розрахункового; 2 – спрощеного

Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу коригуючого зв'язку приведена на рис. 3.26, а результати оптимізації – на рис. 3.27.

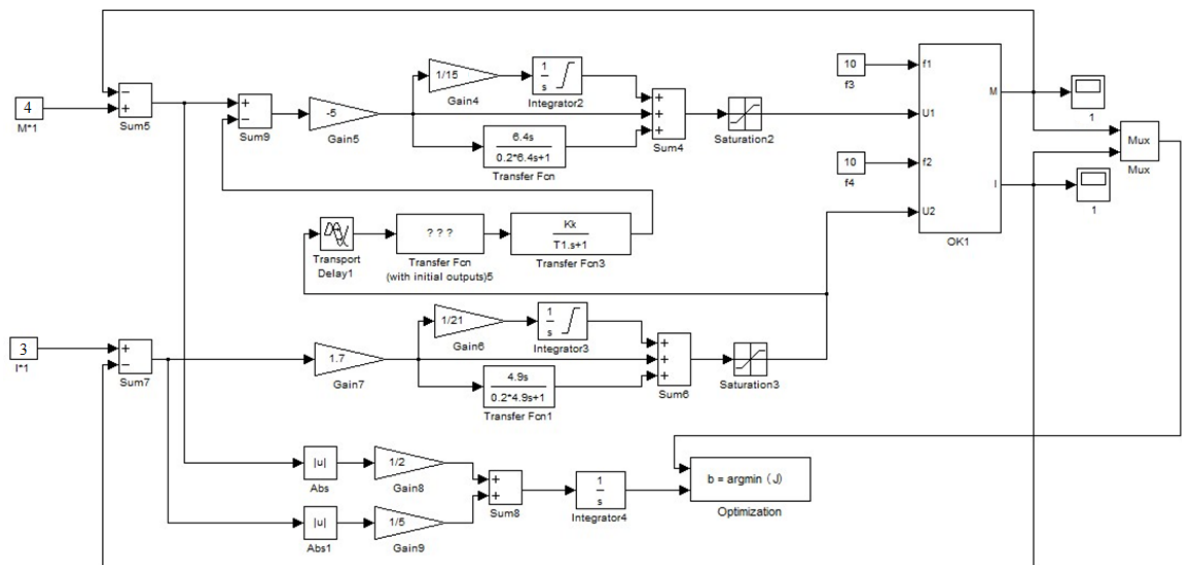
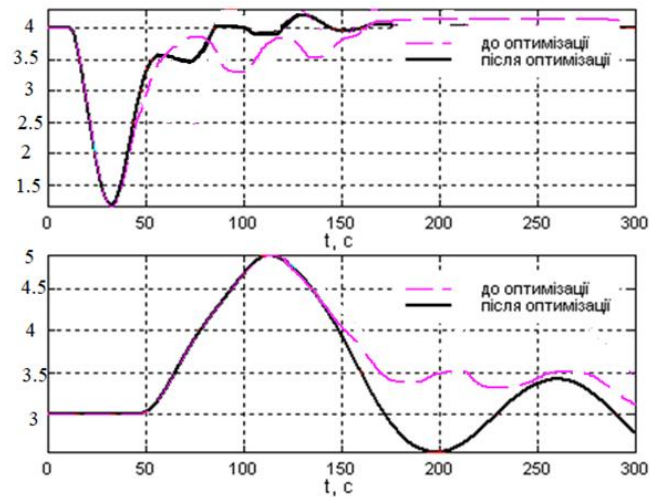


Рис. 3.26 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу коригуючого зв'язку



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	-5.7	-18	-3.7	0	до - 89.731
Tiz1	18.12	1	3.1	200	після - 32.642
Tpr1	9.873	0	15	50	оптимізації.
Kr2	7.463	0	2	20	Кількість кроків
Tiz2	21.45	1	86	500	процедури оптимізації:
Tpr2	39.53	0	59	200	максимальна - 1000
					фактична - 475

Рис. 3.27 – Результати оптимізації САР підвищеної динамічної точності

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

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК наведені на рис. 3.28.

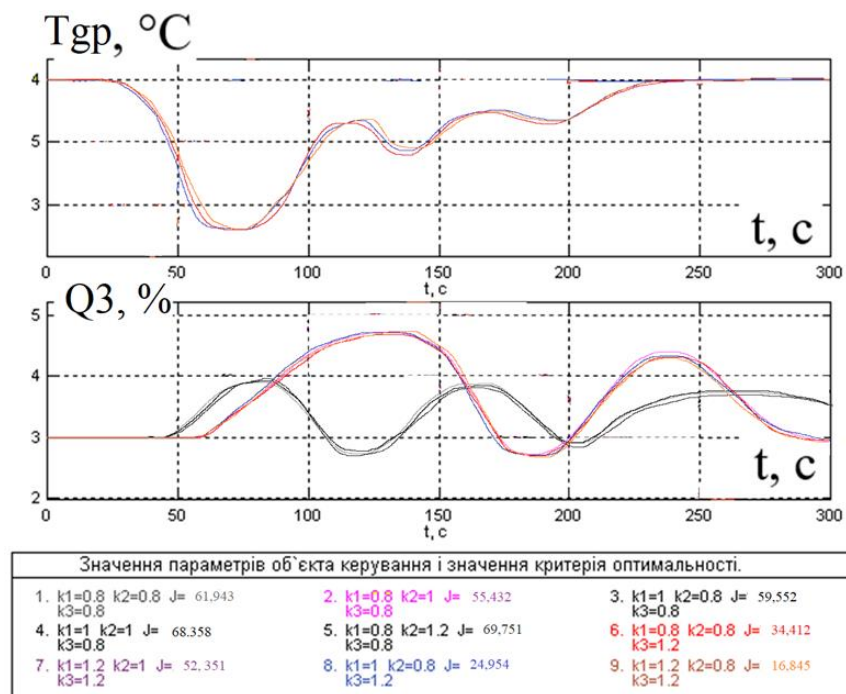


Рис 3.28 – Аналіз САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, в умовах варіації параметрів ОК САР дає перехідні процеси, що сходяться, а значить, САР є грубою.

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, найбільш "сприятливим" для керування є час запізнення по каналам управління, менший на 20% за номінальні значення. Найбільш "несприятливим" для керування є поєднання параметрів ОК, що відповідає часам запізнення за прямими каналами, на 20% більшими їх номінальних значень, та за перехресним каналом, на 20% меншим його номінального значення.

Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОК "сприятливими" і "несприятливими" для керування наведена на рис. 3.41.

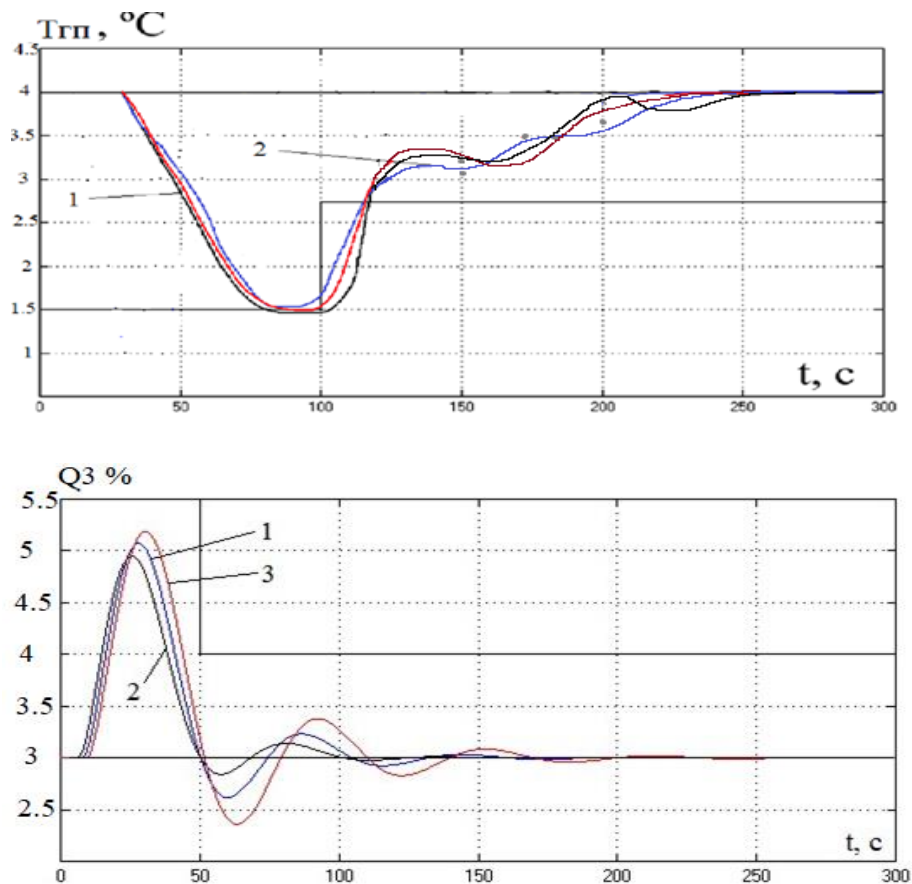


Рис. 3.29 – Результати порівняння САР підвищеної динамічної точності для порівняння варіантів з: 1 – номінальними, 2 – "сприятливими" та 3 – "несприятливими" для керування параметрами ОК

Як видно з результатів аналізу САР на grubість, САР підвищеної динамічної точності є grubою, тому що при будь-яких поєднаннях параметрів ОК дає перехідні процеси, що сходяться.

Для порівняння якості роботи САР базової структури і підвищеної динамічної точності розроблено структурну схему моделювання, наведена на рис.

Результати порівняння наведені на рис. 3.30 і в таблиці 3.5.

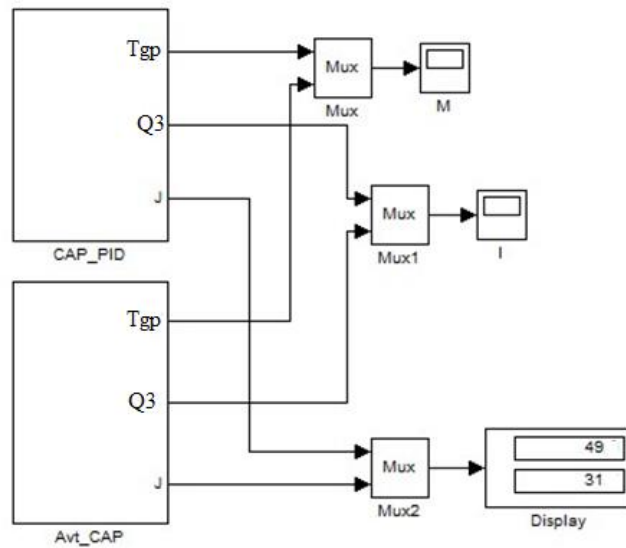


Рис. 3.30 – Структурна схема моделювання для порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

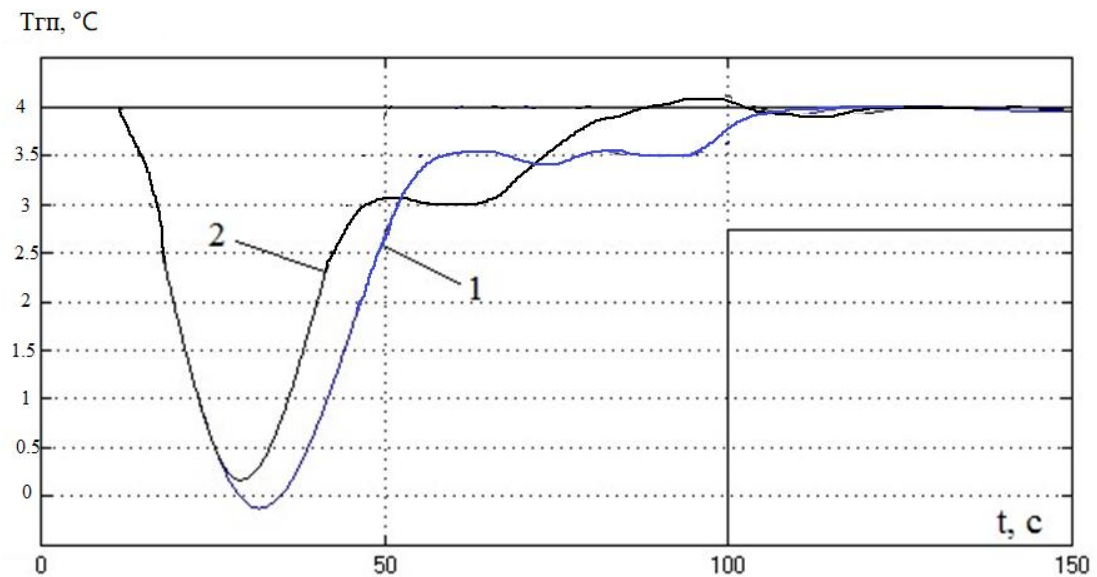


Рис. 3.31 – Результати порівняння САР базової структури (1) та підвищеної динамічної точності (2)

Таблиця 3.5 – Результати порівняння САР базової структури та підвищеної динамічної точності

САР	$\Delta T_{гп}^M$ $\Delta x, ^\circ C$	$T_{пп}$ 1, с	ΔQ_3^M $\Delta x, \%$	$T_{пп}$ 2, с	Крите рій
3 ПІД- регулятором	1,54	49,5 3	2,88	31,1	49
Автономна	1,23	42,1	2,74	31,1	31

Як видно з результатів порівняння САР базової структури з ПІД-регулятором та САР автономної структури, за усіма показниками САР автономної структури є кращою.

3.4 Висновок за розділом

Сформульовано гранично допустимі вимоги до якості регулювання технологічних параметрів процесу приймання молока.

Синтез САР здійснювався в два етапи. На першому етапі проводився розрахунок налаштування регулятора за інженерними методами Копеловича, а на другому етапі застосовувався оптимальний параметричний синтез. В якості критерію використовується інтегральний модульний критерій.

Ми будемо використовувати PIDalgorithm як базовий алгоритм керування.

Динамічну точність САР доцільно підвищити за рахунок забезпечення автономності регулювання каналу.

САР підвищеної динамічної точності грубий.

Здебільшого якісні показники базового САР і САР підвищеної динамічної точності практично однакові. Це означає, що, як і очікувалося, автономний САР не забезпечує суттєвого поліпшення якісних показників перехідних процесів.

часткова гомогенізація, тобто обробляються лише вершки. Причина вибору цієї системи полягає в тому, що вона може функціонувати з невеликим гомогенізатором і таким чином споживати менше енергії, забезпечуючи високий ефект гомогенізації. Кислотність молока не повинна перевищувати 22°Т, якщо кислотність молока перевищує 22°Т, це вказує на початок процесів скисання.

Принцип роботи системи наступний: після першого приймального баку знаходиться контур вимірювання кислотності, якщо кислотність молока перевищує 22°Т, то відчиняється клапан, який подає його до виробництва кисломолочної продукції. Після проходження через нормалізуючий пристрій потік вершків поділяється на дві частини. Одна, з відповідним об'ємним погодинним виходом для отримання питного молока з необхідним вмістом жиру, надходить в гомогенізатор, а інша, надлишкова частина, направляється на установку для переробки вершків. Оскільки вміст жиру в вершках, що підлягають гомогенізації, має становити не більше 18%, звичайні вершки, тобто з масовою часткою жиру 40%, перед гомогенізацією мають бути "розбавлені" знежиреним молоком. При використанні часткової гомогенізації гомогенізатор також приєднаний до лінії знежиреного молока, тому в ньому завжди є достатня кількість продукту для належного функціонування. Таким чином, відносно низький потік вершків компенсується знежиреним молоком до номінальної продуктивності. По ходу гомогенізації вершки із вмістом мол. жиру 18%, зрештою, змішуються всередині виробничої лінії з додатковою кількістю знежиреного молока для досягнення масової частки жиру 3% перед пастеризацією. Після молоко надходить в охолоджувальну секцію теплообмінника, де воно охолоджується крижаною водою.

4.2 Формалізація регламенту, розробка алгоритмів автоматичного

логічного контролю запуску та нормального вимкнення.

На основі наведеного вище опису процесу роботи оформимо у вигляді блок-схеми регламент роботи установок в режимах пуску та технологічної зупинки та складемо відповідні алгоритми керування.

На рис. 4.2 зображено структурну схему регулювання роботи в режимі пуску, а на рис. 4.3 – блок-схема графіка роботи в режимі нормальної зупинки.

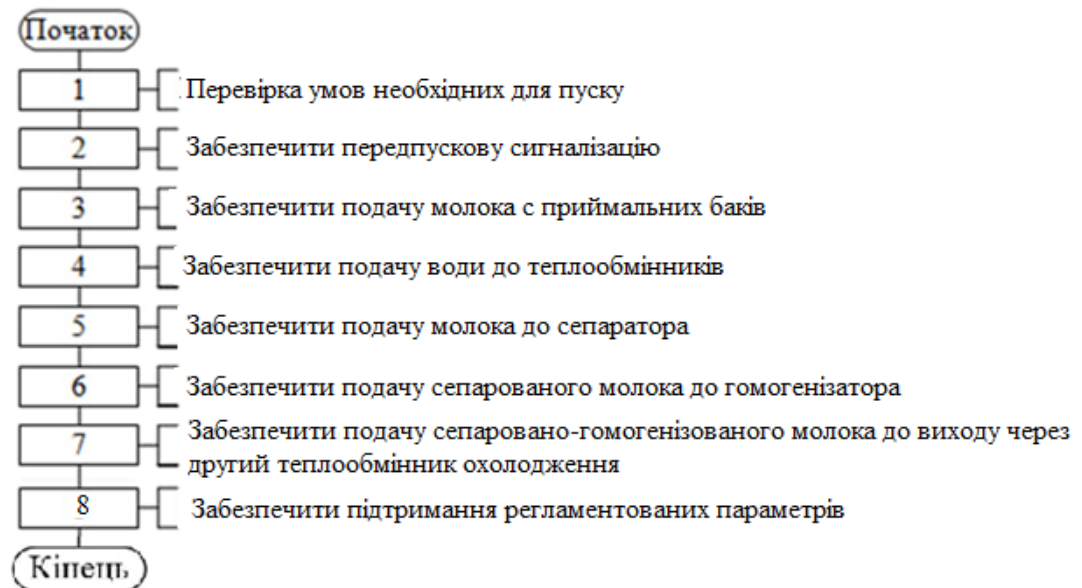


Рис. 4.2 блок-схема регулювання роботи в режимі пуску

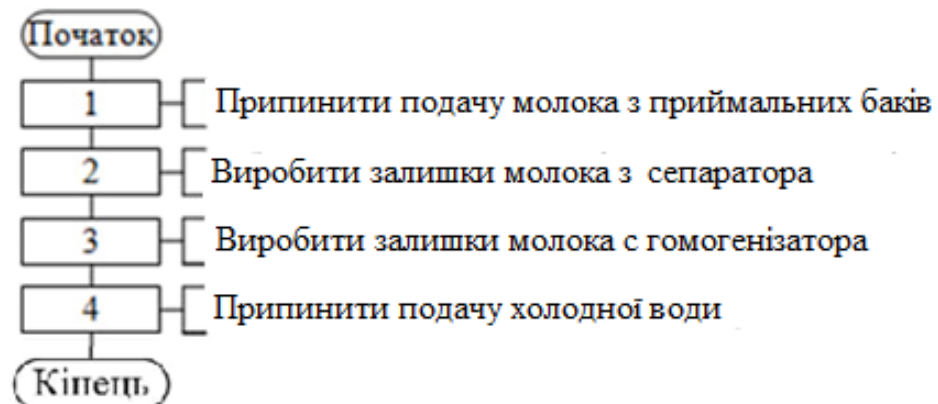


Рис. 4.3 – блок-схема роботи в режимі зупинки.

Розроблені алгоритми керування наведено на рис. 4.4, та 4.5 у вигляді

блок-схем алгоритмів керування пуском та зупинкою системи, що розроблені згідно до регламенту функціонування.

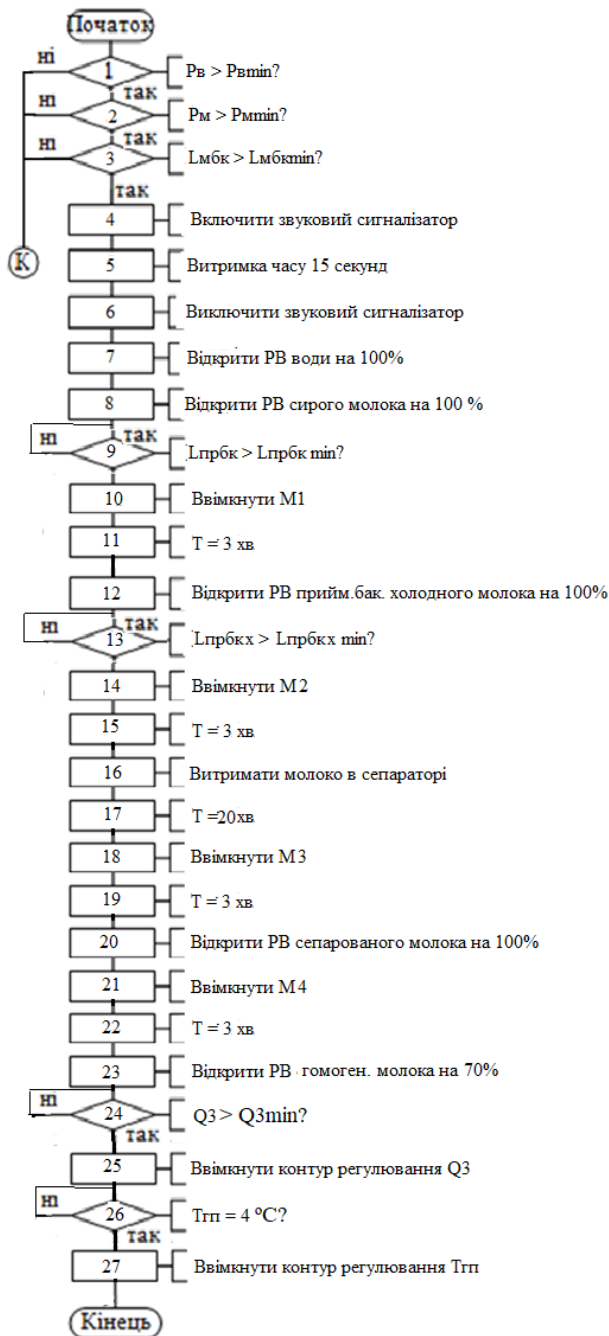


Рис. 4.4 – Блок-схема алгоритму керування пуском системи

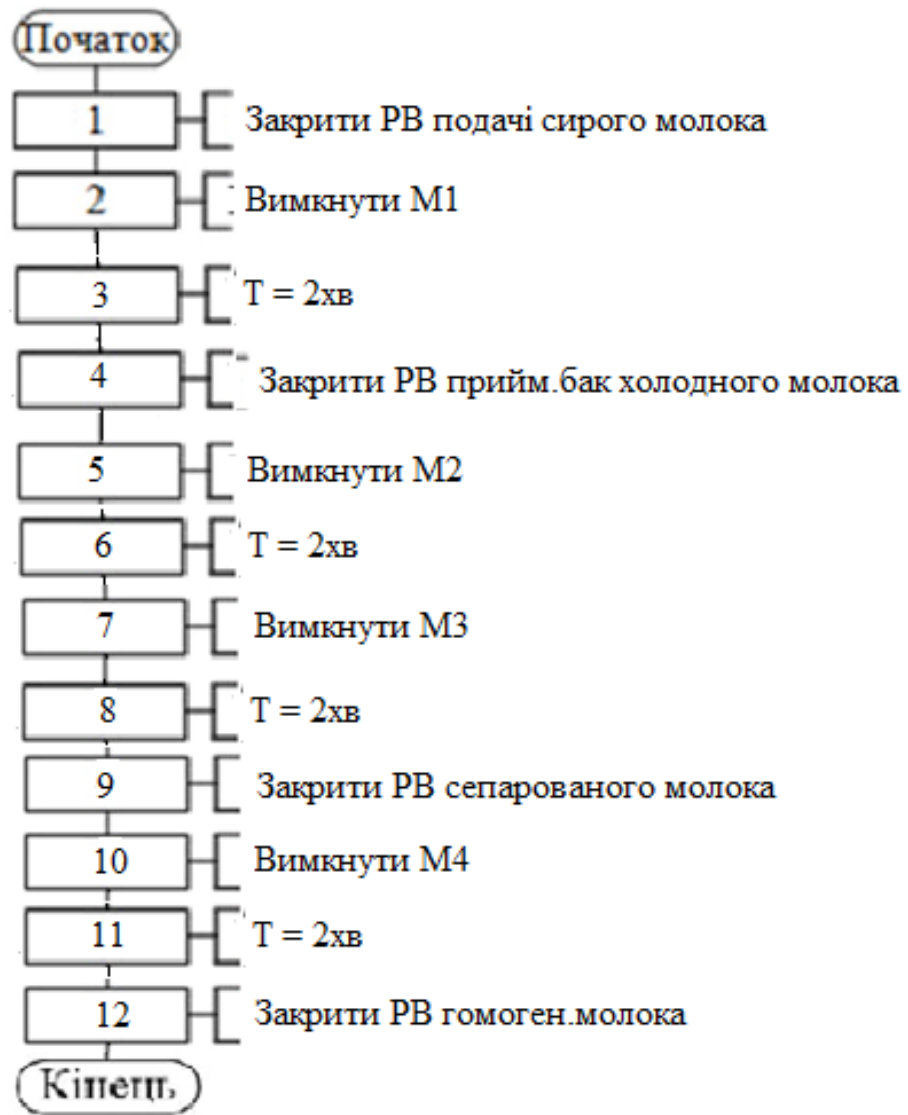


Рис. 4.5 – Блок-схема алгоритму керування зупинкою системи

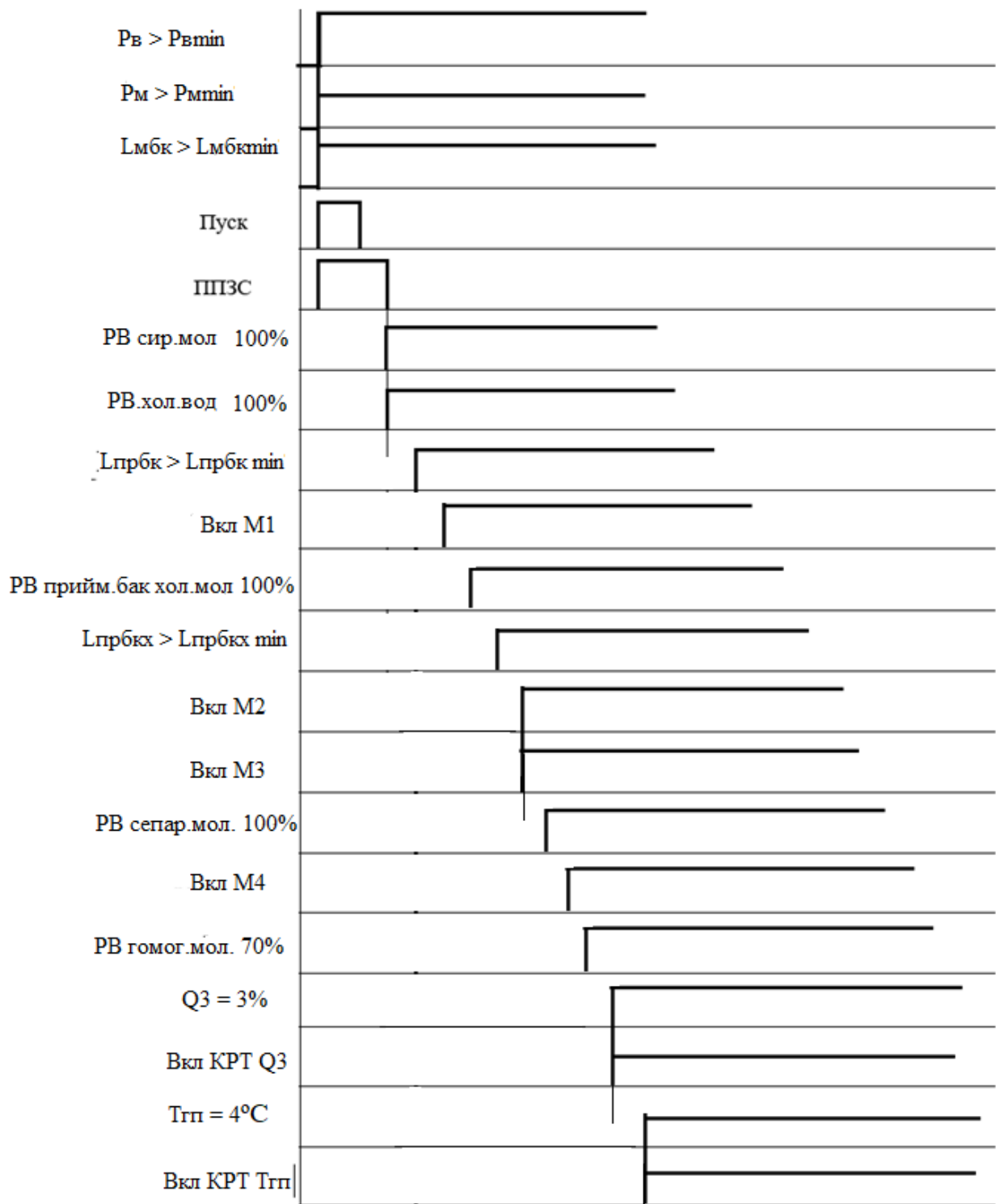


Рис. 4.6 – Циклограма технологічного процесу приймання молока

4.3 Формалізація регламентів та розробка алгоритмів логічного керування для підсистем зупинки в нештатних ситуаціях

Як нештатну ситуацію було розглянуто зупинку насосу молока.

Регламент аварійної зупинки наведено на рис. 4.7, а на рис. 4.8 – алгоритм.

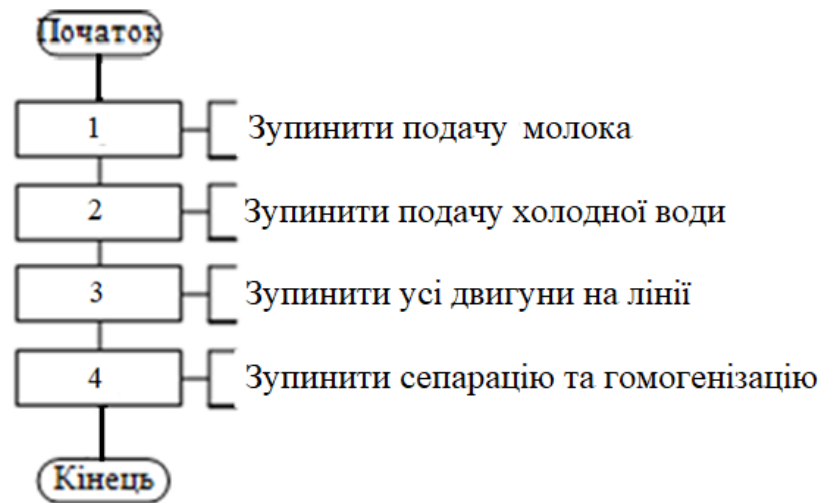


Рис. 4.7 Регламент аварійної зупинки при нештатній ситуації

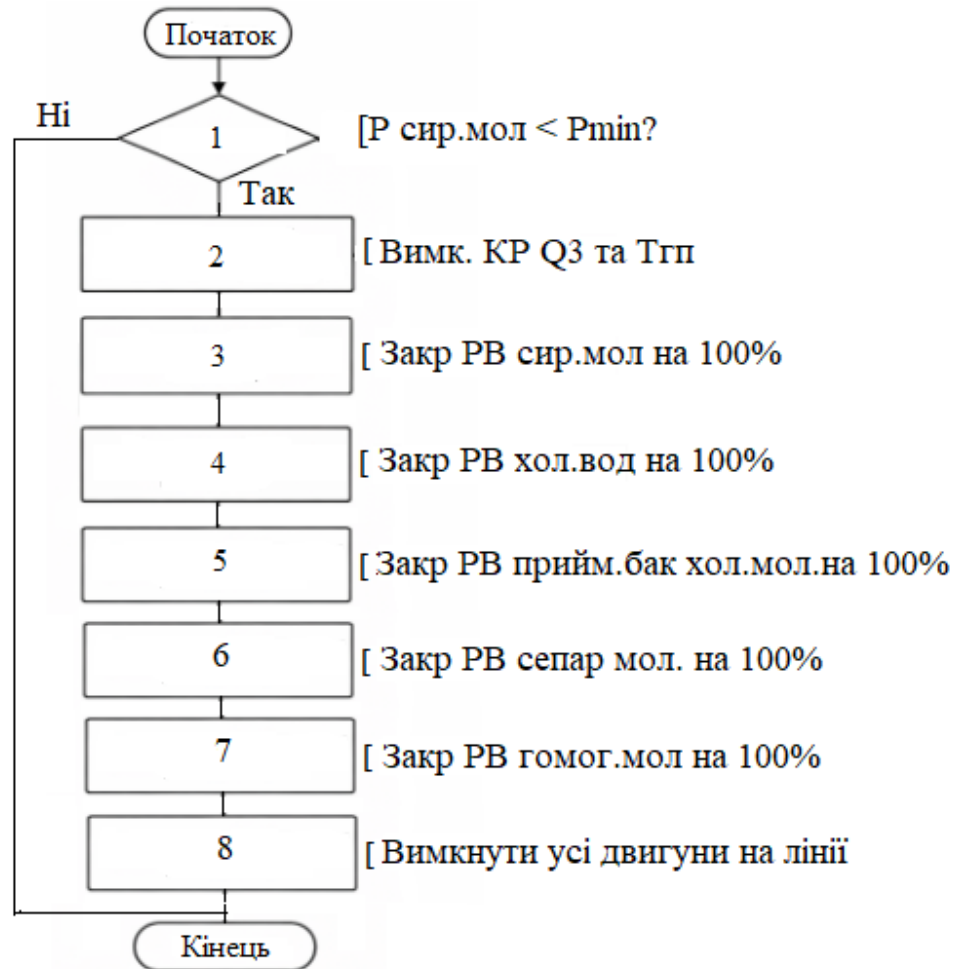


Рис. 4.8 Блок схема алгоритму аварійної зупинки процесу приймання молока

4.4 Висновок за розділом

В результаті реалізації розділу для даного технологічного процесу складено регламент роботи та алгоритми пуск-стоп процесу приймання молока в нормальному та аварійному режимах.

Можна сказати, що розроблені алгоритми керування, а також характеристики, отримані під час моделювання роботи САК, достатньо точно відповідають реальним технологічним процесам.

РОЗДІЛ 5 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЗМІННИ ПРОЦЕСУ ТА РЕАЛІЗАЦІЮ КЕРУЮЧОГО ВПЛИВУ

5.1 Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які необхідно враховувати при виборі технічних засобів та їх розміщення

Лінія приймання молока розташована в закритому від атмосферних явищ середовищі (цеху). Враховуючи можливість витоку води, приміщення слід віднести до категорії пожежобезпечних.

Датчики і виконавчі механізми розміщуються одночасно на трубопроводах. Інше технічне обладнання приводної системи та АПМ технолога розміщується в окремому не пожежо- та вибухобезпечному приміщенні з температурою 13 - 20 °С і вологістю 10 - 40%.

Початок «Правил влаштування електроустановок»:

відкрита або зовнішня електроустановка

Щодо безпеки ураження людей електричним струмом розрізняють:

а) приміщення без підвищеної безпеки, в яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу безпеку;

б) приміщення з підвищеною безпекою, які характеризуються наявністю в них однієї з умов, що створює підвищену безпеку:

1) вологості або струмопровідного пилу;

2) струмопровідної підлоги (металева, земляна, залізобетонна, цегляна тощо);

3) високої температури;

4) 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;

в) особливо небезпечні приміщення, які характеризуються наявністю однієї з

умов, що створює особливу небезпеку:

- 1) особливої вологості;
- 2) хімічно активного або органічного середовища;
- 3) одночасно двох або більше умов підвищеної небезпеки

Відповідно, приміщення де знаходиться лінія приймання молока слід віднести, до – «Приміщення з підвищеною небезпекою, які характеризуються наявністю в них однієї з умов, що створює підвищену небезпеку»

Згідно з «Правилами будови електроустановок. електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» клас вибухонебезпечних зон характерних виробництв та категорія і група вибухонебезпечної суміші повинні відображатися в нормах технологічного проектування або в галузевих переліках виробництв з вибухо-пожежонебезпеки.

Газо-, паро-повітряні вибухонебезпечні середовища утворюють вибухонебезпечні зони класів 0, 1, 2, а пило повітряні — вибухонебезпечні зони класів 20, 21, 22.

Вибухонебезпечна зона класу 0 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище присутнє постійно або протягом тривалого часу.

Вибухонебезпечна зона класу 0 згідно з вимогами даного розділу може мати місце тільки в межах корпусів технологічного обладнання.

Вибухонебезпечна зона класу 1 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище може утворитися під час нормальної роботи (тут і далі нормальна робота — ситуація, коли установка працює відповідно до своїх розрахункових параметрів).

Вибухонебезпечна зона класу 2 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго.

Частоту виникнення і тривалість вибухонебезпечного газо-, пароповітряного середовища визначають за правилами (нормами) відповідних галузей

промисловості.

Вибухонебезпечна зона класу 20 — простір, у якому під час нормальної експлуатації вибухонебезпечний пил у вигляді хмари присутній постійно або часто в кількості, достатній для утворення небезпечної концентрації суміші з повітрям, і (або) простір, де можуть утворюватися пилові шари непередбаченої або надмірної товщини. Звичайно це має місце всередині обладнання, де пил може формувати вибухонебезпечні суміші часто і на тривалий термін.

Вибухонебезпечна зона класу 21 — простір, у якому під час нормальної експлуатації ймовірна поява пилу у вигляді хмари в кількості, достатній для утворення суміші з повітрям вибухонебезпечної концентрації.

Ця зона може включати простір поблизу місця порошкового заповнення або осідання і простір, де під час нормальної експлуатації ймовірна поява пилових шарів, які можуть утворювати небезпечну концентрацію вибухонебезпечної пило повітряної суміші.

Вибухонебезпечна зона класу 22 — простір, у якому вибухонебезпечний пил у завислому стані може з'являтися не часто й існувати недовго або в якому шари вибухонебезпечного пилу можуть існувати й утворювати вибухонебезпечні суміші в разі аварії.

Ця зона може включати простір поблизу обладнання, що утримує пил, який може вивільнятися шляхом витoku і формувати пилові утворення.

Відповідно до введеної класифікації операційну площадку, де розміщується лінія приймання молока, слід віднести до вибухонебезпечної зони класу 1 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище може утворитися під час нормальної роботи.

«Правила будови електроустановок. електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» встановлюють допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних машин (стаціонарних і пересувних) у залежності від класу вибухонебезпечної зони

Клас вибухонебезпечної зони	Рівень вибухозахисту і ступінь захисту
0	Особливо вибухобезпечне електрообладнання
1	Вибухобезпечне електрообладнання
2	Підвищеної надійності проти вибуху
20	Особливо вибухобезпечне і вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
21	Вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
22	Без засобів вибухозахисту (за умови дотримання вимог п. 4.6.9). Ступінь захисту IP54 Частини машин, що дають іскріння (наприклад, контактні кільця), повинні бути замкнені в оболонку зі ступенем захисту IP54

Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів (стаціонарних, пересувних і переносних) у залежності від класу вибухонебезпечної зони

Клас вибухонебезпечної зони	Рівень вибухозахисту і ступінь захисту
0	Особливо вибухобезпечне електрообладнання
1	Вибухобезпечне електрообладнання
2	Підвищеної надійності проти вибуху. Допускається застосовувати електрообладнання без засобів вибухозахисту для апаратів і приладів, що не іскрять і не нагріваються вище +80° С в оболонці зі ступенем захисту не менше IP54
20	Особливо вибухобезпечне і вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
21	Вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
22	Без засобів вибухозахисту (за умови дотримання вимог п. 4.6.9) оболонки зі ступенем захисту не менше IP54

Для лінії приймання молока, слід вибирати ступінь захисту оболонки електричних машин та ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів - «Вибухобезпечне електрообладнання».

«Правила будови електроустановок. електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» визначають:

Пожежонебезпечна зона класу П-I — простір у приміщенні, у якому знаходиться горюча рідина, яка має температуру спалаху більше +61° С.

Пожежонебезпечна зона класу П-II — простір у приміщенні, у якому можуть накопичуватися і виділятися горючий пил або волокна.

Пожежонебезпечна зона класу П-IIIа — простір у приміщенні, у якому

знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.

Пожежонебезпечна зона класу П-ІІІ — простір поза приміщенням, в якому знаходяться горюча рідина, яка має температуру спалахнення понад +61° С або тверді горючі речовини.

По класифікації вибухонебезпечності обладнання та приміщень відноситься до П-ІІ пожежонебезпечної зони - простір у приміщенні, в якому знаходиться газоподібні-горючі речовини і матеріали.

«Правила будови електроустановок. електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» встановлюють:

Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин у залежності від класу пожежонебезпечної зони

Вид установки та умови роботи	Ступінь захисту оболонок для пожежонебезпечних зон класу			
	П-I	П-II	П-IIa	П-III
Установки стаціонарні, які іскрять або мають частини, що іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44
Установки стаціонарні, які не іскрять і не мають частин, що іскрять за умовами роботи	IP44	IP44	IP44	IP44
Установки на пересувних механізмах (крани, тельфери тощо), які іскрять або не іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44

Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів у залежності від класу пожежонебезпечної зони

Вид установки та умови роботи	Ступінь захисту оболонок для пожежонебезпечних зон класів			
	П-I	П-II	П-IIa	П-III
Установки стаціонарні або на пересувних механізмах (крани, тельфери тощо), які іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44
Установки стаціонарні або на пересувних механізмах, які не іскрять за умовами роботи	IP44	IP44	IP44	IP44
Шафи для розміщення апаратів і приладів	IP44	IP54 IP44*	IP44	IP44
Коробки наборів затискачів силових і вторинних кіл	IP44	IP44	IP44	IP44

По класифікації вибухонебезпечності обладнання та приміщень робоче середовище відноситься до П-I пожежонебезпечної зони зі ступенем захисту IP44.

5.2 Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного

процесу і стан обладнання

Для надання інформації технологічному персоналу використовуються комп'ютерна робоча станція з встановленим програмним забезпеченням SCADA. АРМ дозволяє оператору здійснювати моніторинг та керування автоматизацією лінії приймання молока, переглядати поточні значення параметрів, аварійні повідомлення, також надає можливість налаштування параметрів регуляторів та зміни режимів роботи установки. Також існують засоби, через які можна впливати на процес, до них відносяться: кнопки пуск/стоп, перемикачі для вибору режиму роботи.



Рис.5.1 – Пост двомісний Аско "Старт-Стоп"



Рис.5.2 – Перемикач на 3 фіксованих положення ALCLR-22



Рис.5.3 – Світлосигнальна арматура червона AD22-22DS



Рис.5.4 – Контактор Schneider electric lc1d12



Рис.5.5 – Світлодіодні індикатори HL1-HL2



Рис.5.6 – Двопозиційне реле АСКО-УКРЕМ MY2 (5A 24V DC)

5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу

Регулювання Щільності напівпродукту (Q3) здійснюється автоматично за допомогою системи автоматичного керування, також є можливість перемикання на ручне керування в разі потреби, наприклад, при налаштуванні системи, проведенні ремонтних робіт або виникненні нештатних ситуацій.

Технічні засоби:

Вимірюють і регулюють щільність напівпродукту завдяки Ультразвуковому

аналізатору молока ЕКОМІЛК 120



Рис.5.7 – Ультразвуковий аналізатор молока ЕКОМІЛК 120

Ультразвуковий аналізатор ЕКОМІЛК 120 на основі ультразвукової технології без застосування будь-яких хімічних реактивів проводить аналіз якісних показників складу молока.

Аналізатор має високу точність вимірювання, надійність, простоту в обслуговуванні, широку сферу використання, що дозволяє займати одне з лідируючих місць на ринку приладів аналогічного типу.

За допомогою даного приладу можна за 120 секунд визначити шість параметрів якості молока, таких як: жир, СОМО (сухий знежирений залишок в молоці), щільність, додану воду, точку замерзання білка і температуру.

Дані аналізатори використовуються у заводських молочних та ветеринарних лабораторіях, приймальних пунктах здачі молока, міні-заводах та молочних

фермах для контролю якості молока.

Ключові особливості ЕКОМІЛК 120:

Прості у використанні та обслуговуванні, надійні та автоматизовані;

Швидкий та недорогий аналіз;

Без застосування кислоти чи інших хімічних речовин;

Невелика кількість молока щодо вимірювання;

Короткий час вимірювання та низьке енергоспоживання;

Електроживлення 220 В / 110 В змінного струму або 12 В постійного струму

Можливе коригування точності вимірювань замовником;

Повна гарантія на один рік;

Підтримка послідовного термопринтера;

Інтерфейс USB та RS 232;

Програма ЗБОРУ ДАНИХ МОЛОКА

Зберіть дані про молоко з одного аналізатора молока Ekomilk, підключеного через кабель RS 232 до СОМ-порту ПК.

Система збору даних

Зібрані дані: ідентифікатор постачальника, обсяг літрів, параметри молока;

Можливість зберігати до 120 вимірів;

Передача даних на ПК за допомогою програми Milk Data, яка встановлена

через кабель RS 323 або USB.

Також для подачі гомогенізованого молока у вигляді напівпродукту, та сепарованого молока у вигляді напів продукту, використовується

Клапан триходовий змішувальний mut vdm3 3000e 2"



Рис. 5.8 Клапан Триходовий Змішувальний Mut Vdm3 3000e 2"

VDM3 3000E 2" - триходовий змішувальний / розділювальний клапан для опалення виробництва італійської компанії MUT. Код товару 7.030.01277.

Клапан може виконувати функцію змішування або розділення потоків теплоносія. Особлива конструкція шляхів забезпечує змішування з лінійною залежністю. Форма змішувального ротора - круговий сегмент. Змішувальний клапан MUT VDM3 3000E підмішує. Може виконувати інші функції в системах опалення / охолодження, де потрібна підтримка температури вихідного потоку на заданому рівні.

При необхідності автоматизації процесів регулювання можна встановити привід MUT M або від іншого виробника. Градування під ручкою від 0 до 10, відповідає повороту клапана на 90 градусів. Після зняття кінцевих обмежувачів

можливий поворот ручки на 360 градусів.

Основні технічні характеристики

Розмір - 2"

Матеріал виготовлення корпусу, ротора - латунь

Приєднувальні патрубки - зовнішня різьба

Kvs - 56

база - 110 мм

Регулювання Тгп - температури готового продукту здійснюється автоматично за допомогою системи автоматичного керування, також є можливість перемикання на ручне керування в разі потреби наприклад, при налаштуванні системи, проведенні ремонтних робіт або виникненні нештатних ситуацій.

Для вимірювання температури молока обираємо датчик THTS-1PA541506MZ



Рис.5.9 - Датчик температури THTS-1PA541506MZ 6047600

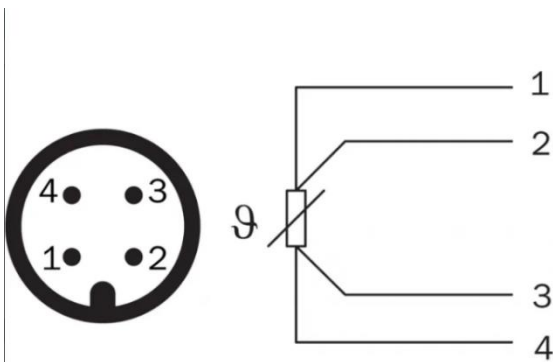


Рис.5.10 – Схеми підключення датчика

Датчик температури THTS є економічним терморезистивним датчиком температури Pt100 в мініатюрному виконанні, що відповідає гігієнічним вимогам, який був створений для застосування в харчовій промисловості та на підприємствах з виробництва напоїв, використовується також в косметичній і фармацевтичній промисловості.

Виробник: SICK

Діапазон вимірювання температури: $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$

Довжина щупа: 150 mm

Вихідний сигнал: Pt100, 4-жильний

Технічні підключення Конічний штуцер (DIN 11851) DN 40 з пазовою накидною гайкою

Довжина щупа / діаметр вимірювального щупа 50 mm / 6 mm

Матеріали, які контактують із середовищем Нержавіюча сталь 1.4435 / 316L,
 $Ra \leq 0,8\text{ мкм}$

Опір тиску Макс. 40 бар при кімнатній температурі

Матеріал корпусу Нержавіюча сталь (CrNi)

Підключення Циліндричний з'єднувач M12 x 1, 4-контактний, IP67 і IP69

Вимірювальний струм 0,1 mA ... 1 mA

Електробезпека Клас захисту: III, Напруга ізоляції: 500 В перем. струму

Клас захисту III

Сертифікат RoHS

Час ініціалізації Max. 4 s

Точність вимірювального елемента Клас А згідно з ІЕС 60751 1)

Точність вимірювального перетворювача $\pm 0,25$ K

Лінійність вимірювального перетворювача $\leq \pm 0,1$ % діапазону

Оцінка - $t_{50} \leq 3,3$ s $t_{90} \leq 9,7$ s 2)

Клас В (діапазон вимірювання -50 °C ... -30 °C).

Залежно від конфігурації датчика, згідно з ІЕС 60751.

Дані навколишнього середовища

Температура навколишнього середовища -40 °C ... $+85$ °C

Температура зберігання і транспортування -40 °C ... $+85$ °C

Ударостійкість 50 g, 6 мс (за стандартом ІЕС 60068-2-27)

Відносна вологість повітря 100 % 1)

Допускається утворення конденсату.

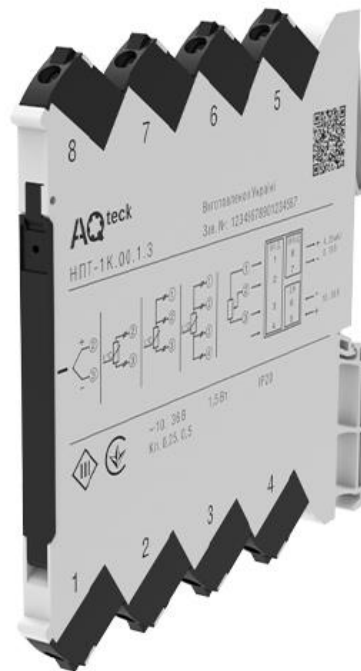


Рис. 5.11 НПТ-1К. Нормувальний перетворювач

НПТ-1К – універсальний нормувальний перетворювач, призначений для перетворення значень температури, вимірюваної за допомогою термопари або термометрів опору, в універсальні сигнали струму 4...20 мА, 0...20 мА, 0...5 мА і напруги 0...10В, 0...5 В, 2...10 В. Новий НПТ-1К при установленні на DIN-рейку займає всього 6 мм.

При конфігуруванні НПТ-1К підключається до USB-порту ПК за допомогою стандартного кабелю microUSB. До комплекту постачання кабель microUSB не входить.

Застосування нормованих сигналів знижує вплив електромагнітних завад у колі вимірювання температури, полегшує підключення термодатчиків до контролерів, дає можливість зменшити витрати за рахунок використання звичайних мідних проводів замість спеціалізованих термокомпенсаційних кабелів, а також у кілька разів збільшити довжину лінії зв'язку від датчика до вимірювального пристрою.

Основні функції НПТ-1К

Перетворення сигналів термодатчиків в уніфікований сигнал струму і напруги: 4...20 мА, 0...20 мА, 0,5 мА, 0...10 В, 0...5 В, 2...10 В.

Універсальний вхід.

Підтримка більшості відомих типів НСХ термодатчиків.

Висока точність (збереження точності при зменшенні вхідного діапазону):

Точність 0,25 % - для термометрів опору (ТО).

Точність 0,5 % - для термоелектричних перетворювачів (ТП).

Кліматичне виконання: -40...+70 °С.

Висока надійність.

Малі габаритні розміри (160 пристроїв можна встановити на 1 метрі DIN-рейки).

Гальванічна розв'язка між входом і виходом.



Рис 5.12. Електропривід Belimo CQ24A-SZ-T

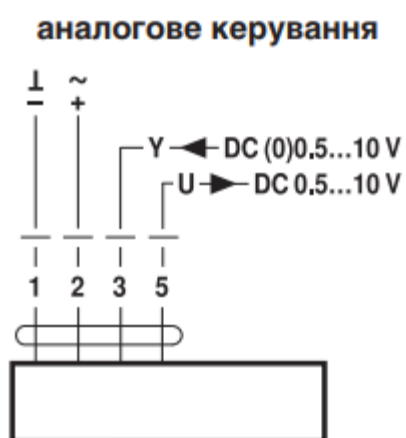


Рис. 5.13 Схема підключення електроприводу

Просте встановлення Привід встановлюється на клапан натисненням рукою на корпус (рух тільки у вертикальній площині). Привід може встановлюватися в одному з двох положень відносно установчого фланцю (крок 1800).

Роз'єднайте привід і клапан та обертайте вал клапану, використовуючи для цього електропривід.

Кут повороту налаштовується за допомогою механічного обмежувача з кроком $2,5^\circ$. Призначення даної функції – встановлення максимальної витрати через клапан. Для 2-ходового клапану – встановіть механічний обмежувач в необхідне положення згідно таблиці відповідності (див. опис клапану). Для 3-ходового клапану – видаліть механічний обмежувач (непотрібний для функції

переключення потоків). Висока функціональна надійність Електропривід захищений від перевантажень, не потребує кінцевих вимикачів та зупиняється автоматично при досягненні кінцевих положень.

- Крутний момент 1 Нм •

Керування: аналоговое DC 0.5...10 В

- Швидкий монтаж приводу
- Налаштування витрати

Електричні параметри	CQ24A-SZ-T
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	0,4 Вт
Споживана потужність при утриманні	0,3 Вт
Розрахункова потужність	0,9 ВА
Електричне підключення	термінальне підключення, під 4-жильний кабель, клемна колодка 1,5 мм ²
Керуючий сигнал Y	DC 0,5...10 В
Вхідний опір	100кОм
Напруга зворотнього зв'язку U	DC 0,5...10 В
Функціональні данні	
Крутний момент (номінальний)	1 Нм
Ручне керування	За допомогою електроприводу (поперед
Час повороту	75 с
Рівень шуму	35 дБ(А)
Індикація положення	Механічна
Налаштування витрати	За допомогою механічного обмежувача
Безпека	
Клас захисту	III (для низьких напруг)
Ступінь захисту корпусу	IP40
EMC	Відповідає CE 2014/30/EU
Сертифікати IEC/EN	IEC/EN 60730-1 та IEC/EN 60730-2-14
Опір ізоляції	0,8 кВ
Температура експлуатації	+5...+40 °C
Температура зберігання	-40...+80 °C
Зовнішня вологість	95%, без конденсації
Технічне обслуговування	Не потребує
Вага	0,15 кг

Рис. 5.14 Характеристики електроприводу Belimo CQ24A-SZ-T

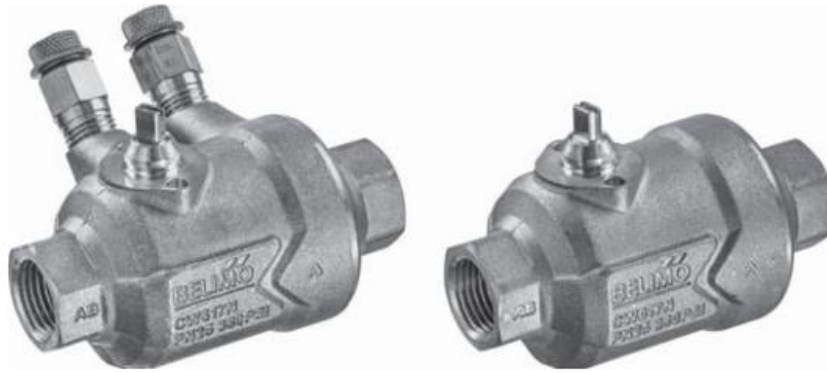


Рис. 5.15 Комбіновані регулюючі клапани з автоматичним обмеженням витрати PIQCV

Комбіновані регулюючі клапани з автоматичним обмеженням витрати PIQCV C2...QR... – без вимірювальних ніппелів;

C2...QRT... – з вимірювальними ніппелями.

Застосування: - керування водяними контурами в системах вентиляції і кондиціонування повітря; - керування водяними контурами в системах опалення. Застосовуються для теплообмінників припливних установок, фанкойлів, радіаторів, теплових насосів, котлів, стельових панелей.

Комбінований регулюючий клапан C2...QR(T) керується електроприводами серії CQ... Електроприводи можуть керуватися типовими сигналами: відкр./закр., 3-точковим або стандартним аналоговим 0...10 В і переміщують кулю клапану у положення, відповідне керуючому сигналу. Клапан відкривається проти ходу годинникової стрілки і закривається за ходом годинникової стрілки.

Завдяки вбудованій у клапан секції балансування, при перепаді тисків на клапані в діапазоні 16...350 кПа, клапан підтримує постійну витрату незалежно від коливань тиску в системі. Витрата через клапан залежить тільки від його кута відкриття (тобто від значення сигналу керування). Коефіцієнт регулювання клапану (авторитет) дорівнює 1. Ручний обмежувач витрати ZCQ-FL Замість електроприводу, на клапан може бути встановлений ручний

обмежувач витрати ZCQ-FL (не входить до комплекту постачання). Вимірювальні ніппелі Версія C2...QPT... обладнана ніпелями для вимірювання перепаду тиску на клапані (між точками P1 і P3). Якщо виміряне значення знаходиться у діапазоні 16...350 кПа, то клапан гарантовано забезпечить необхідну витрату відповідно до таблиці витрати, незалежно від перепаду тиску. Ніппелі також використовуються для оптимізації роботи насосу – наприклад, для забезпечення мінімально можливого перепаду тиску (16 кПа) на максимально віддаленому від насосу клапані. Рекомендується встановлення на зворотньому трубопроводі. Напрямок потоку, що вказаний стрілкою на корпусі клапану, має зберігатись!

Робоче середовище	вода, вода з етиленгліколем $\leq 50\%$ від об'єму
Температура середовища:	2...90 °C
Робочий діапазон перепаду тиску	16...350 кПа
Умовний тиск Ps	1600 кПа
Перепад тиску, що перекривається приводом ΔP_s	700 кПа
Характеристика потоку	рівнопропорційна (VDI/VDE 2178, оптимізована в точці відкр.)
Стабільність регулювання	$\pm 10\%$ в діапазоні перепаду тиску на клапані 16...350 кПа
Величина протікання	герметичний, клас A у відповідності до EN 12266-1
Трубне приєднання	внутрішня різьба у відповідності до ISO 7-1
Кут повороту	90° (робочий діапазон 15...90°)
Положення встановлення	вертикально або горизонтально (по штоку клапану)
Технічне обслуговування	не потребує
Матеріали:	
-корпус	латунь
-запірний елемент	нерж. сталь
-вал	нерж. сталь
-ущільнювач валу	кільце EPDM
-ущільнювач запірного елемента	PTFE, кільце EPDM
-діафрагма	EPDM
Сокращения	V_{nom} = номинальный поток через полностью открытый клапан

Рис. 5.16 Характеристики клапана з автоматичним обмеженням витрати
PIQCV

Необхідність регулювання:

Регулювання струму в двигунах є важливим аспектом експлуатації насосів оскільки він дозволяє виявляти неполадки та запобігати аварійним ситуаціям. Збурення, які впливають на струм двигунів є відхилення напруги живлення від номінального значення та частота напруги живлення.

Спосіб регулювання:

Регулювання струму двигунів (I_c , I_r) здійснюється автоматично за допомогою системи автоматичного керування, також є можливість перемикання на ручне керування в разі потреби наприклад, при налаштуванні системи, проведенні ремонтних робіт або виникненні нештатних ситуацій.

Технічні засоби:

Керуючим впливом є частота напруги живлення (f). Змінюючи частоту за допомогою частотного перетворювача можна регулювати швидкість обертання двигуна.



Рис.5.17 – Електродвигун мотор СІЧ 100

Оригінальний електродвигун сепаратора Мотор Січ 100 (80)
львівського виробництва

Це модель двигуна, який штатно встановлювався в сепаратори Мотор

Січ з 90-х по 2008 рік і з 2019 року по сьогодні. В інші роки на сепараторах Мотор Січ встановлювалися двигуни Ракета (дніпропетровського заводу) або чеські ДМС-80.

Найважливіше, чого немає в аналогах, - це адаптація до довгого запуску. Оригінальний двигун сепаратора Мотор Січ має посилену ізоляцію обмотки, яка здатна витримувати трикратне перевантаження в момент, коли сепаратор набирає обертів. Це вкрай важливо для того, щоб двигун сепаратора не виходив з ладу кожні 3-5 років, як китайський аналог.

Технічні характеристики електродвигуна сепаратора Мотор Січ 100 (80)
Двигун має мідну обмотку, відкритий посилений каркас з алюмінію. Завдяки цьому електродвигун сепаратора добре віддає тепло і не перегрівається.

Також варто відзначити, що двигун розрахований на автоматичне регулювання обертів. Немає необхідності «накручувати» оберти регулятором або ставити якісь додаткові плати управління. Після включення, електродвигун розкручує барабан сепаратора до 12000 обертів на хвилину, після подачі молока в барабан, швидкість обертання знижується до 10500 об/хв.

Для забезпечення стабільної роботи сепаратора, оригінальний двигун Мотор Січ має робочу (номінальну) потужність 60Вт, проте в момент набирання обертів фактичне споживання електроенергії може доходити до 200Вт

.

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

Обладнання лінії приймання молока розміщується в окремому приміщенні, то відповідно датчики та виконавчі пристрої, які встановлені на ньому, також розміщуються на невеликих відстанях одні від інших. Таким чином шафу з ПЛК та допоміжним устаткування доцільно розташувати в приміщенні щитовій неподалік від основного обладнання, що скоротить довжини кабелів при підключенні. Виходячи з цих обставин та невеликої кількості обладнання розглянутої ділянки ПТЛ 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.

Виконавши аналіз системи автоматизації лінії приймання 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 готового продукту (молока)	A	I	4...20 mA DC
2	Щільність напівпродукту	A	I	4...20 mA DC
3	Сигнал датчику положення TCV11	A	I	4...20 mA DC
4	Сигнал датчику положення QCV11	A	I	4...20 mA DC
5	Сигнал датчику положення FV10	A	I	4...20 mA DC
6	Сигнал керування положенням TCV11	A	O	0...10 V DC

7	Сигнал керування положенням QCV11	A	O	0...10 V DC
8	Сигнал керування положенням FV10	A	O	0...10 V DC
9	Сигнал датчика верхнього рівня молока у ємності 1	D	I	24 V DC
10	Сигнал датчика верхнього рівня молока у ємності 2	D	I	24 V DC
11	Сигнал датчика тиску молока перед насосом M1	D	I	24 V DC
12	Сигнал датчика тиску молока перед насосом M2	D	I	24 V DC
13	Сигнал стану авт. вимикача двигуна M1 насосу 1	D	I	24 V DC
14	Сигнал стану контактора двигуна M1	D	I	24 V DC
15	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) M1	D	I	24 V DC
16	Сигнал стану авт. вимикача двигуна M2 насосу 2	D	I	24 V DC
17	Сигнал стану контактора двигуна M2	D	I	24 V DC
18	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) M2	D	I	24 V DC
19	Сигнал стану авт. вимикача двигуна M3 сепаратору молока	D	I	24 V DC
20	Сигнал стану контактора двигуна M3	D	I	24 V DC
21	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) M3	D	I	24 V DC
22	Сигнал стану авт. вимикача двигуна M4 гомогенізатору	D	I	24 V DC

23	Сигнал стану контактора двигуна M4	D	I	24 V DC
24	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) M4	D	I	24 V DC
25	Сигнал стану «відкритий» клапану подачі води TV5	D	I	24 V DC
26	Сигнал стану «закритий» клапану подачі води TV5	D	I	24 V DC
27	Сигнал стану «відкритий» клапану подачі молока FV6	D	I	24 V DC
28	Сигнал стану «закритий» клапану подачі молока FV6	D	I	24 V DC
29	Сигнал стану «відкритий» клапану подачі молока FV7	D	I	24 V DC
30	Сигнал стану «закритий» клапану подачі молока FV7	D	I	24 V DC
31	Сигнал стану «відкритий» клапану подачі молока FV8	D	I	24 V DC
32	Сигнал стану «закритий» клапану подачі молока FV8	D	I	24 V DC
33	Сигнал стану «відкритий» клапану подачі молока FV9	D	I	24 V DC
34	Сигнал стану «закритий» клапану подачі молока FV9	D	I	24 V DC
35	Сигнал керування двигуном насосу M1	D	O	24 V DC
36	Сигнал керування двигуном насосу M2	D	O	24 V DC
37	Сигнал керування двигуном сепаратору M3	D	O	24 V DC

38	Сигнал керування двигуном гомогенізатору M4	D	O	24 V DC
39	Сигнал керування клапану подачі води TV5	D	O	24 V DC
40	Сигнал стану «відкритий» клапану подачі молока FV6	D	O	24 V DC
41	Сигнал стану «відкритий» клапану подачі молока FV7	D	O	24 V DC
42	Сигнал стану «відкритий» клапану подачі молока FV8	D	O	24 V DC
43	Сигнал стану «відкритий» клапану подачі молока FV9	D	O	24 V DC
44	Сигнал керування звук.сигн.	D	O	24 V DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:

AI – 5, AO – 3, DI – 25, DO – 10

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.

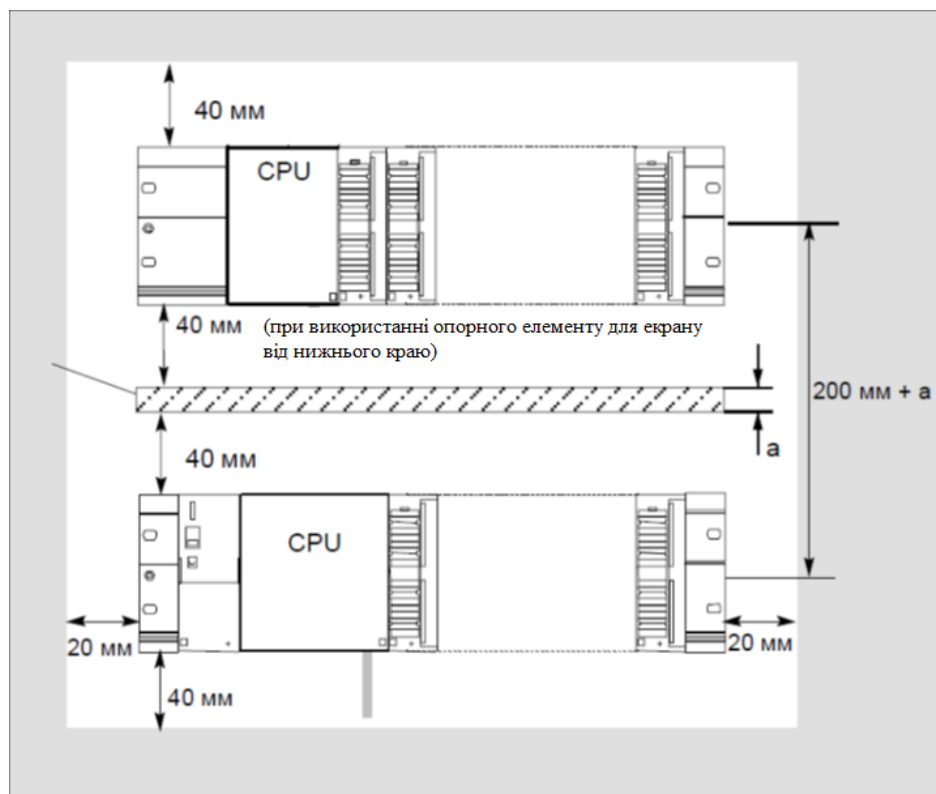


Рис. 5.18 – Зазори при встановленні S7-1500 у шафі.

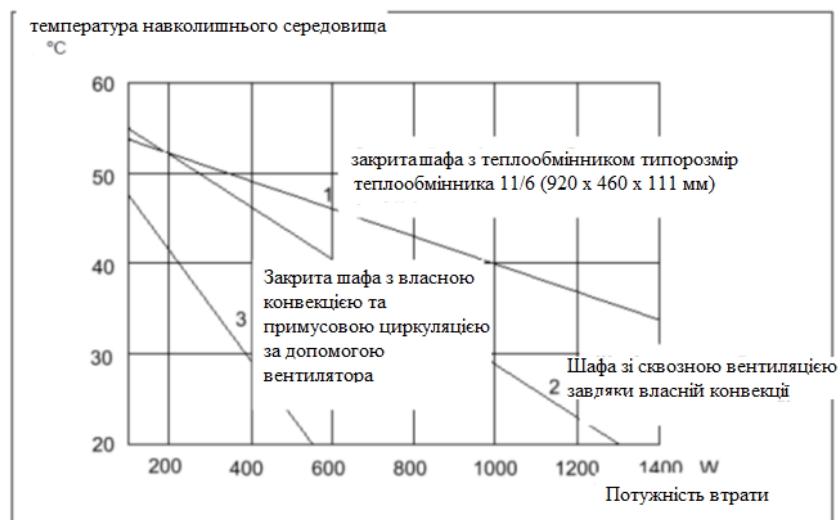


Рис. 5.19 – Діаграма припустимих потужностей розсіювання.

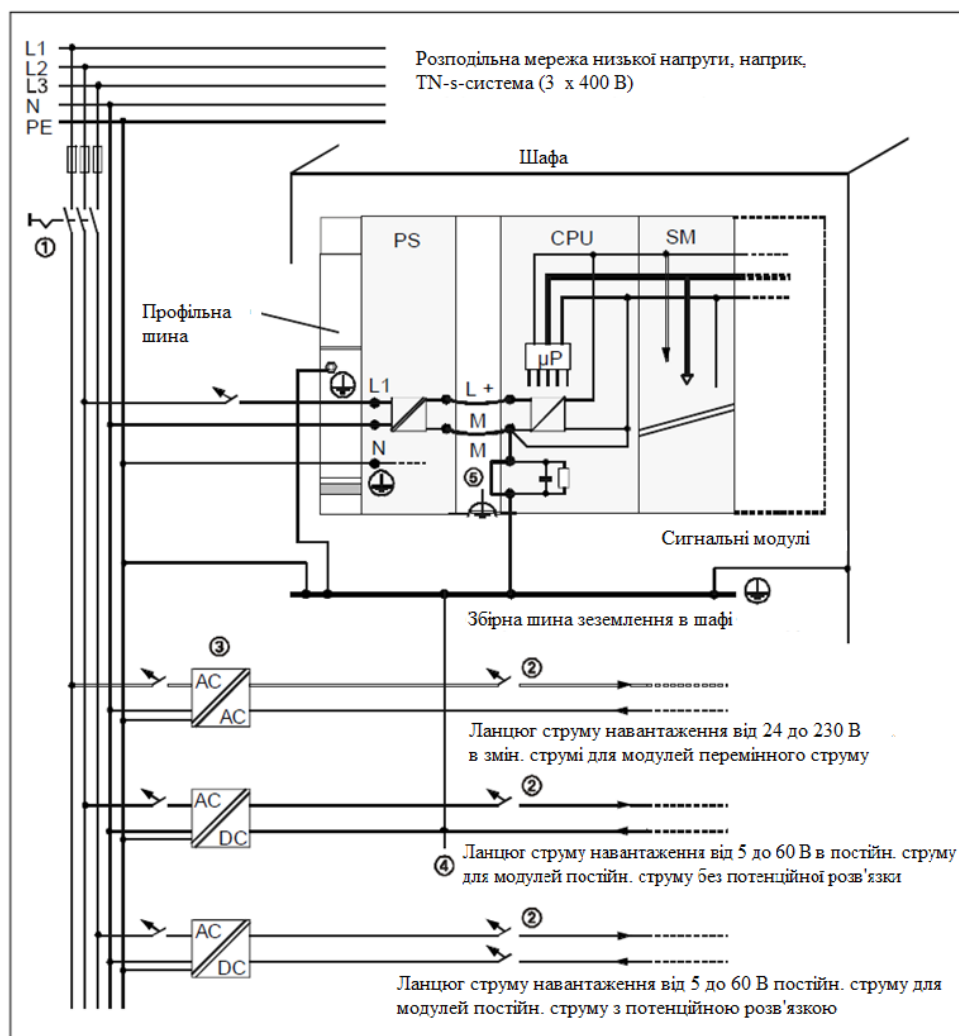


Рис. 5.20 – Схема заземлення в шафі.

Приміщення щитової 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.

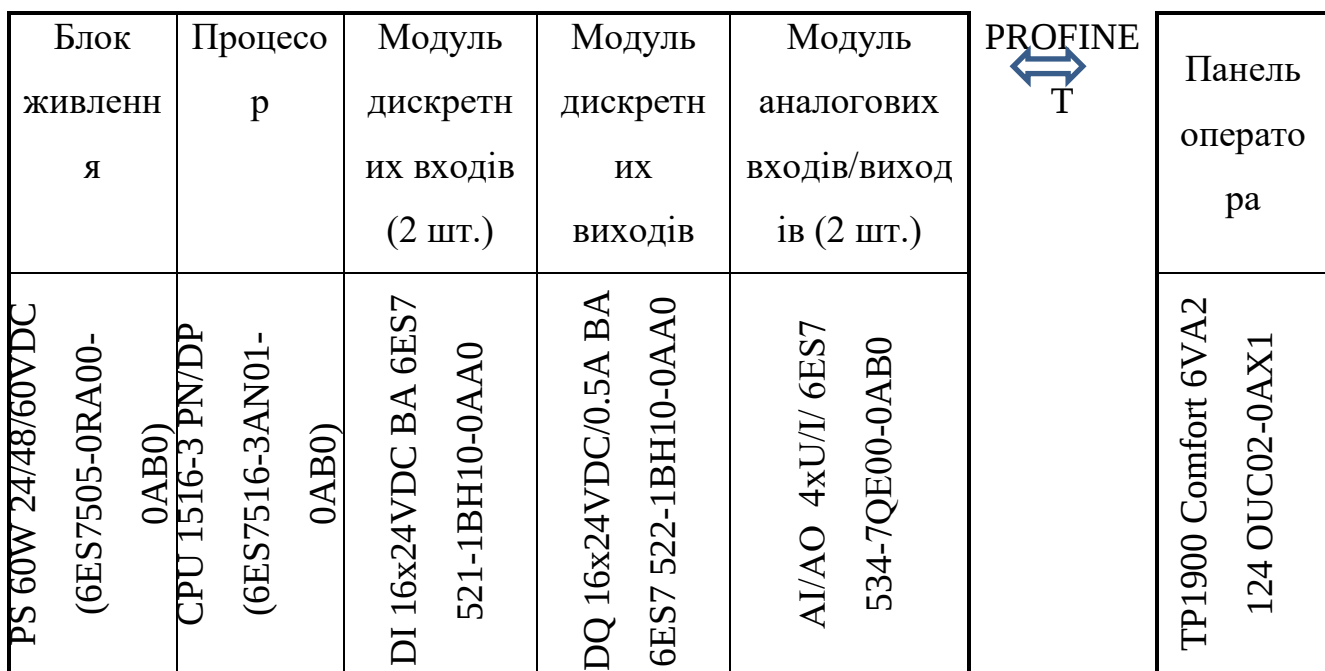


Рис. 5.17 – Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування лінії приймання молока.

Центральний процесор CPU 1516-3 PN / DP призначений для побудови систем управління, що вимагають виконання програм великого об'єму, високій швидкості оброблення даних і обслуговування систем розподіленого введення-виведення на основі мереж PROFINET IO і PROFIBUS DP. Оснащений інтерфейсами PROFINET, а також PROFIBUS. Це дає можливість застосувати його при подальшій розбудові системи на інші ділянки виробництва.

6ES7516-3AN01-0AB0			
General information		Input current	
Product type designation	CPU 1516-3 PN/DP	Current consumption (rated value)	0.85 A
Hardware function version	FS03	Inrush current, max.	2.4 A; rated value
Firmware version	V2.0	I _{Pt}	0.02 A*s
Engineering with STEP 7 TIA Portal can be configured/integrated as of version		Power	
V14		Power consumption from the backplane bus (balanced)	6.7 W
Configuration control		Incoming power to the backplane bus	12 W
Via data record	Yes	Power loss	
Display		Power loss, typ.	7 W
Screen diagonal (cm)	6.1 cm	Memory	
Operator controls		Number of slots for SIMATIC memory card	1
Number of buttons	6	SIMATIC memory card required	Yes
Mode selector	1	Work memory	
Supply voltage		Integrated (for program)	1 MB
Type of supply voltage	24 V DC	Integrated (for data)	5 MB
Low limit of permitted range (DC)	19.2 V		
High limit of permitted range (DC)	28.8 V		
Reverse polarity protection	Yes		
Power and voltage failure buffering			
Power/voltage failure buffer time	5 ms		

Рис. 5.21 – 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).

Digital inputs	
Number of inputs	16
Configurable digital inputs	No
Sinking/sourcing input	Sinking input
Input characteristic curve acc. to IEC 61131, type 3	Yes
Input voltage	
Type of input voltage	DC
Rated value (DC)	24 V
for signal "0"	-30 to $+5$ V
for signal "1"	$+11$ to $+30$ V
Input current	
for signal "1", typ.	2.7 mA
Input delay (for rated value of input voltage)	
For standard inputs	
• Configurable	No
• with "0" to "1", min.	3 ms
• with "0" to "1", max.	4 ms
• with "1" to "0", min.	3 ms
• with "1" to "0", max.	4 ms
For interrupt inputs	
• Configurable	No
for technological functions	
• Configurable	No
Cable length	
shielded, max.	1000 m
unshielded, max.	600 m

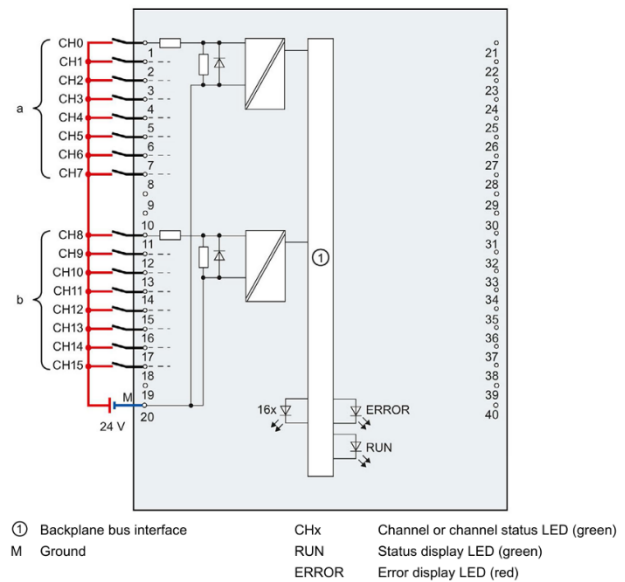


Рис. 5.22 – Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA.

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 A.

Digital outputs	
Type of digital output	Transistor
Number of outputs	16
Sourcing output	Yes
Digital outputs, configurable	No
Short-circuit protection	Yes
• Response threshold, typ.	1 A
Limitation of inductive shutdown voltage to	L+ (-53 V)
Activation of a digital input	Yes
Switching capacity of the outputs	
With resistive load, max.	0.5 A
With lamp load, max.	5 W
Load resistance range	
Low limit	48 Ω
High limit	12 k Ω
Output voltage	
Type of output voltage	DC
for signal "1", min.	L+ (-0.8 V)
Output current	
For signal "1" rated value	0.5 A
For signal "1" permitted range, max.	0.5 A
For signal "0" residual current, max.	0.5 mA
Output delay with resistive load	
"0" to "1", max.	100 μ s
"1" to "0", max.	500 μ s

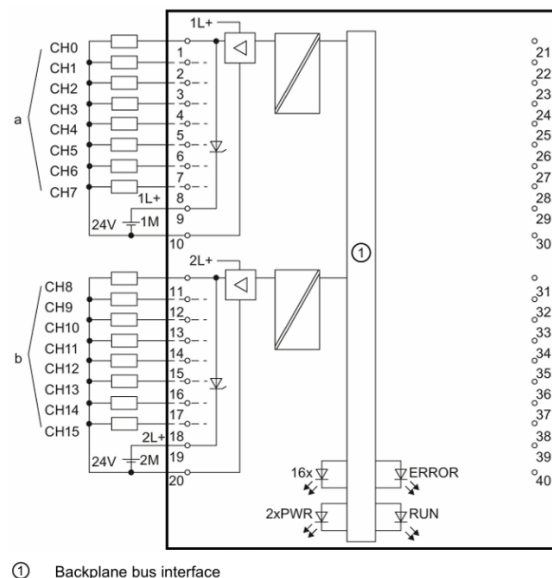


Рис. 5.23 – Технічні характеристики та схема підключень
DQ 16x24VDC/0.5A BA.

Для вводу/виводу аналогових сигналів обраний модуль (2 штуки) 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.

6ES7534-7QE00-0AB0	
Analog inputs	
Number of analog inputs	4
Number of analog inputs with current measurement	4
Number of analog inputs with voltage measurement	4
Number of analog inputs with resistance/resistance thermometer measurement	2
Number of analog inputs with thermocouple measurement	4
Permissible input voltage for voltage input (destruction limit), max.	28.8 V
Permissible input current for current input (destruction limit), max.	40 mA
Technical unit for temperature measurement adjustable	Yes
Input ranges (rated values), currents	
0 mA to 20 mA	Yes
Input resistance (0 mA to 20 mA)	25 Ω; plus approx. 42 ohm for overvoltage protection by PTC
-20 mA to +20 mA	Yes
Input resistance (-20 mA to +20 mA)	25 Ω; plus approx. 42 ohm for overvoltage protection by PTC
4 mA to 20 mA	Yes
Input resistance (4 mA to 20 mA)	25 Ω; plus approx. 42 ohm for overvoltage protection by PTC

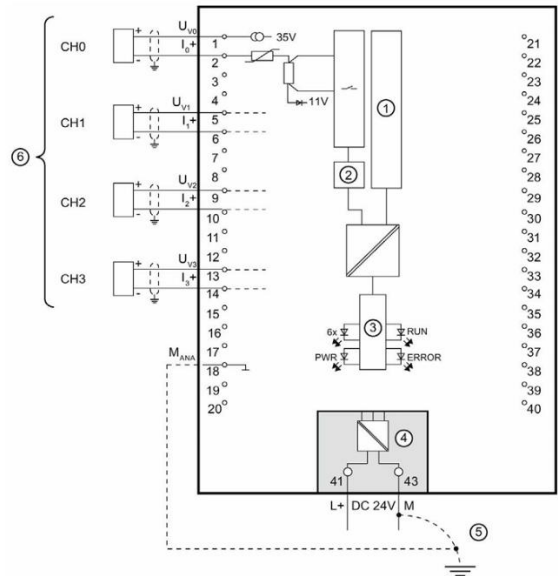


Рис. 5.24 – Технічні характеристики та схема підключень
датчиків сили струму до входів 6ES7534-7QE00-0AB0.

Analog outputs	
Number of analog outputs	2
Voltage output, short-circuit protection	Yes
Voltage output, short-circuit current, max.	24 mA
Current output, open-circuit voltage, max.	22 V
Cycle time (all channels) min.	3.2 ms; +/- 0.5ms, regardless of the number of activated channels
Output ranges, voltage	
0 V to 10 V	Yes
1 V to 5 V	Yes
-10 V to +10 V	Yes
Output ranges, current	
0 mA to 20 mA	Yes
-20 mA to +20 mA	Yes
4 mA to 20 mA	Yes
Connection of actuators	
for voltage output two-wire connection	Yes
for voltage output four-wire connection	Yes
for current output two-wire connection	Yes
Load resistance (in the rated output range)	
for voltage outputs, min.	1 k Ω ; 0.5 kilohm at 1 V to 5 V
for voltage outputs, capacitive load, max.	1 μ F
for current outputs, max.	750 Ω
for current outputs, inductive load, max.	10 mH
Cable length	
Shielded cable length, max.	800 m; for current, 200 m for voltage

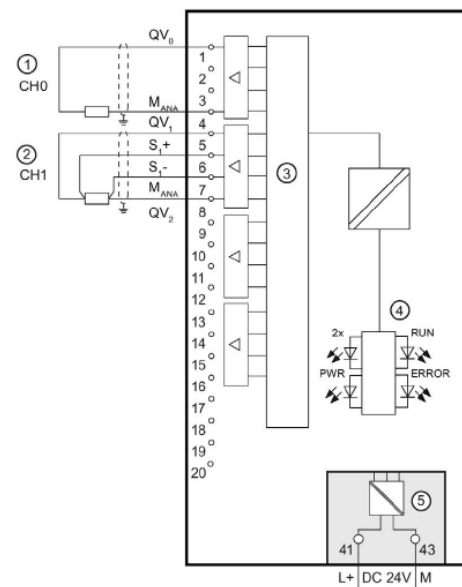


Рис. 5.25 – Технічні характеристики та схема формування уніфікованої напруги на виходах 6ES7534-7QE00-0AB0.

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.

5.5 Висновок за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом приймання молока. Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Для приймання молока, усі класи точності та діапазони відповідають нормам, тобто оператор буде отримуватиме дійсну інформацію щодо протікання процесу. Усі виконавчі механізми відповідають вимогам технічного процесу.

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

6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж

Для програмної реалізації САК лінії приймання молока створюємо у середовищі TIA Portal проект і додаємо до його складу контролер CPU 1516-3 PN / DP та панель оператора TP1900 Comfort, які за своїми технічними характеристиками відповідають поставленій задачі автоматизації.

Конфігурування обраного контролера та панелі оператора проводимо шляхом налаштування мережевих зв'язків між ними, для чого вказуємо IP адреси. В якості типу з'єднання обираємо HMI connection.

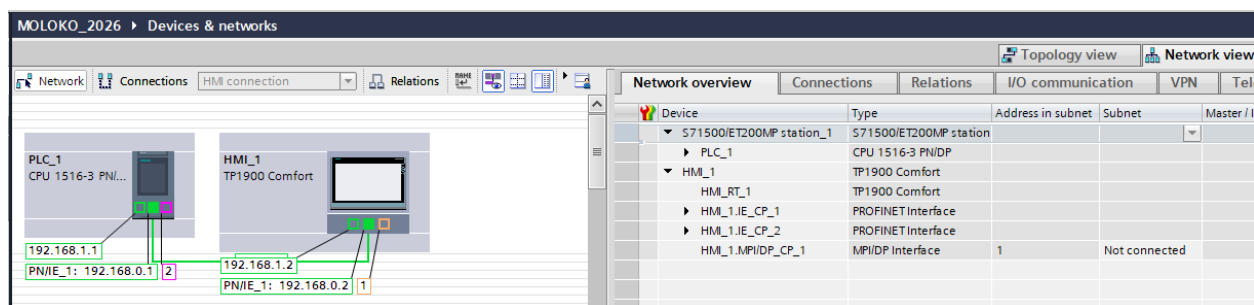


Рис. 6.1 Визначення складу технічних засобів проекту та налаштування мережевих зв'язків.

На вкладці Properties контролера (CPU) встановлюємо можливість користуватися байтами системної пам'яті та байтами часової пам'яті (рис. 6.2).

Далі обираємо з каталогу необхідні модулі вводу/виводу, 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)

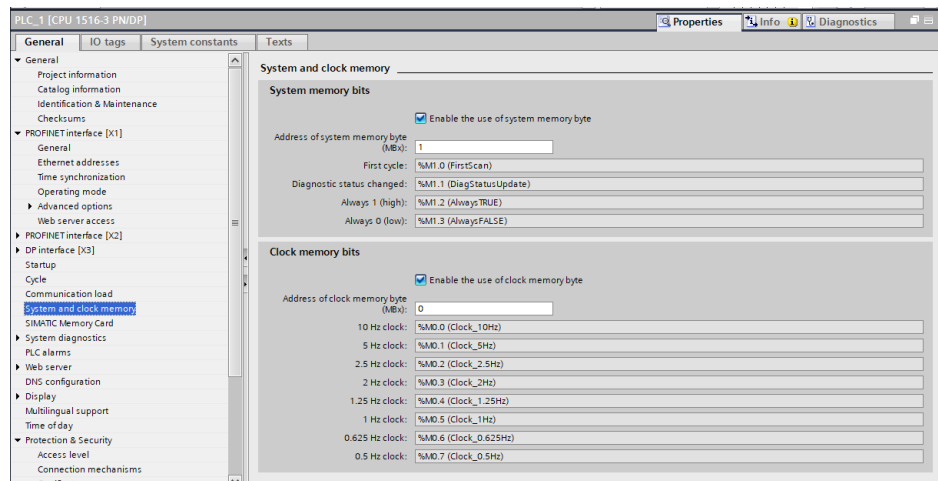


Рис. 6.2 Конфігурування системних областей пам'яті CPU.

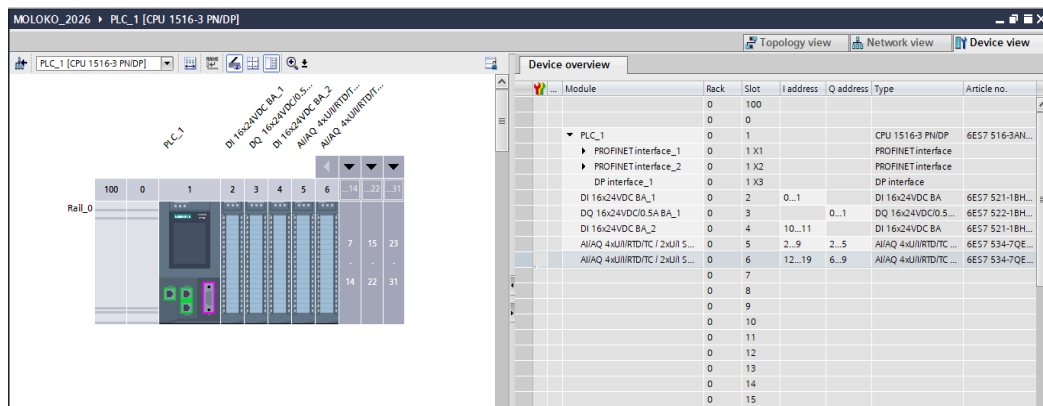


Рис. 6.3 Приклад визначення модулів ПЗО

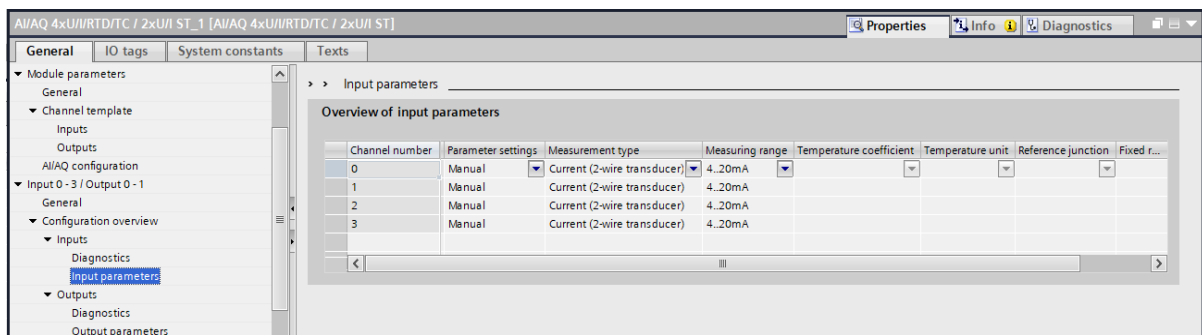


Рис. 6.4 Приклад визначення виду вхідного сигналу і діапазону його зміни для аналогового модуля

Відповідно до табл. 5.5 проводимо остаточне редагування імен

входів/виходів в таблиці тегів програми.

	Name	Data type	Address	Retain	Access...	Write...	Visibl...	Supervis...	Comment
46	Output16	Bool	%Q1.7						
47	winTemp	Int	%IW2						Температура продукту (молока)
48	winDensity	Int	%IW4						Щільність напілпродукту (молока)
49	winTCV11	Int	%IW6						Положення PO TCV11
50	winQCV12	Int	%IW8						Положення PO QCV12
51	wOutVoda	Int	%QW2						Керуваний вплив TCV11
52	wOutTK	Int	%QW4						Керуваний вплив QCV12
53	bAVM8	Bool	%I10.1						
54	bHomeValveVod	Bool	%I10.2						
55	bWorkValeVod	Bool	%I10.3						
56	bVod	Bool	%I10.4						
57	xkont_M4	Bool	%I10.5						
58	bHomeValve4	Bool	%I10.6						
59	bWorkVale4	Bool	%I10.7						
60	bin9	Bool	%I11.0						
61	bin10	Bool	%I11.1						
62	bin11	Bool	%I11.2						
63	bin12	Bool	%I11.3						
64	bin13	Bool	%I11.4						
65	bin14	Bool	%I11.5						
66	bin15	Bool	%I11.6						
67	bin16	Bool	%I11.7						
68	bKV8B3	Bool	%I10.0						
69	STP_Get_DateTime	Bool	%M5.1						
70	SET_DateTime	Bool	%M5.2						
71	inwFV10	Int	%IW12						Положення PO FV10
72	wOutTK_1	Int	%QW6						Керуваний вплив FV10
73	<Add new>								

Рис. 6.5 Приклад вікна таблиці тегів САК лінії приймання молока.

6.2. Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування

В дереві каталогу проекту створюємо дві папки: Cyclic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи регулювання продуктивності норії, та Logic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи логічного керування ПТЛ відвантаження зерна.

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

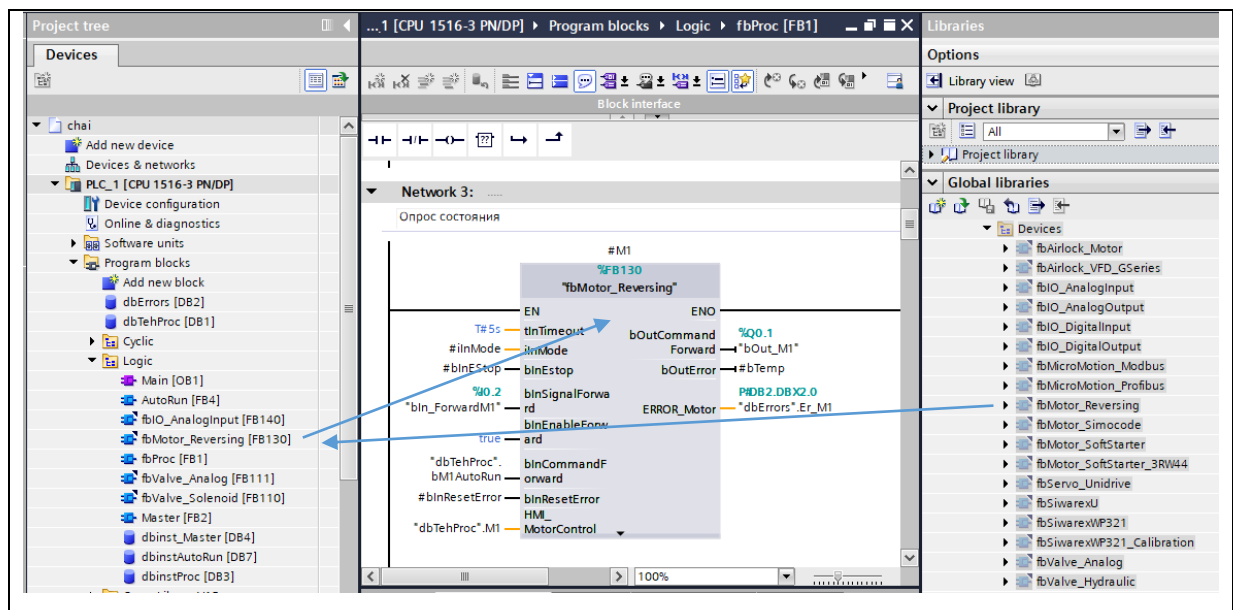


Рис. 6.6 Приклад додавання функціонального блоку FB Motor

Основні функціональні можливості цих блоків:

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

Використовуючи бібліотечні типи даних, які розміщені в дереві каталогу проекту PLC data types, створюємо два глобальних блоки даних dbTehProc, dbErrors.

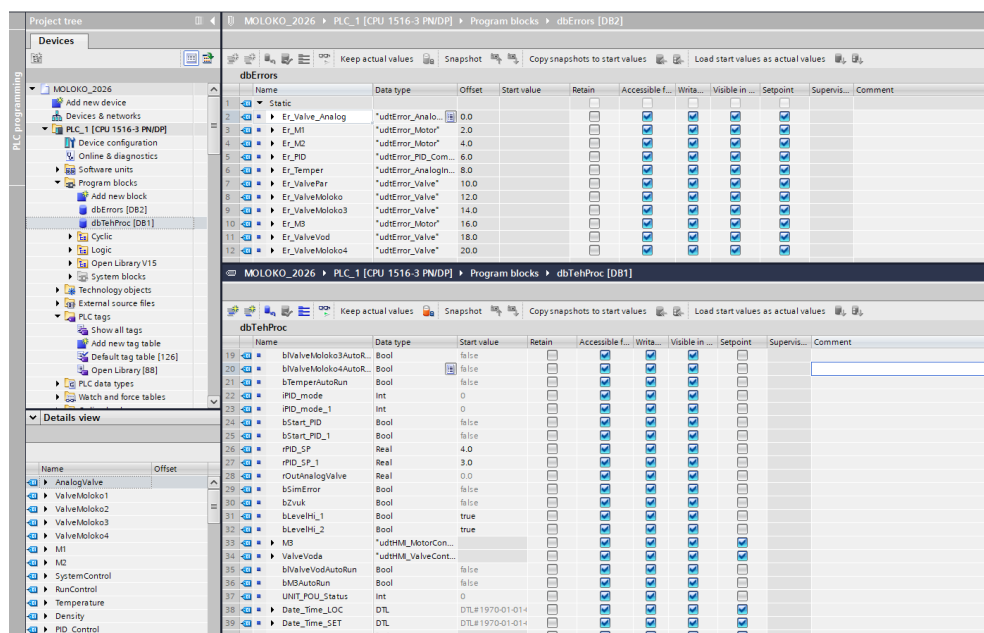


Рис. 6.7 Створення глобальних блоків даних dbTehProc, dbErrors при реалізації САК лінії приймання молока.

Створення підпрограм логічного керування.

Спочатку розробляємо підпрограму fbProc опитування стану обладнання, а саме електроприводів насосів молока M1 та M2, сепаратору та гомогенізатору M3 та M4, відсічних клапанів молока FV6 - FV9, аналогових приводів клапанів молока та блоків обробки аналогових сигналів. Створюємо інтерфейс цього функціонального блоку, в якому в розділах Input, Output, Static, Temp вказуємо імена змінних та їх типи.

MOLOKO_2026 ▸ PLC_1 [CPU 1516-3 PN/DP] ▸ Program blocks ▸ Logic ▸ fbProc [FB1]

Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Supervis
inMode	Int	0	Non-ret...	☒	☒	☒	☐	☐
binEStop	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
binResetError	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
binSimulate	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
Output				☐	☐	☐	☐	☐
bOutAuto	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
bOutError	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
InOut				☐	☐	☐	☐	☐
<Add new>				☐	☐	☐	☐	☐
Static								
M1	"fbMotor_Reversing"			☒	☒	☒	☐	☐
M2	"fbMotor_Reversing"			☒	☒	☒	☐	☐
AnalogValve	"fbValve_Analog"			☒	☒	☒	☐	☐
Temperature	"fbIO_AnalogInput"			☒	☒	☒	☐	☐
Density	"fbIO_AnalogInput"			☒	☒	☒	☐	☐
ValveMoloko1	"fbValve_Solenoid"			☒	☒	☒	☐	☐
ValveMoloko2	"fbValve_Solenoid"			☒	☒	☒	☐	☐
ValveMoloko3	"fbValve_Solenoid"			☒	☒	☒	☐	☐
ValveMoloko4	"fbValve_Solenoid"			☒	☒	☒	☐	☐
rOutAnalogValve	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
rinAnalogValve	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
iTemper	Int	0	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
iTemper_1	Int	0	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
wTempRez	Word	16#0	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
wTemp	Word	16#0	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
wTemp_1	Word	16#0	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
unipolar	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
Static_1	"fbValve_Solenoid"			☒	☒	☒	☐	☐
M3	"fbMotor_Reversing"			☒	☒	☒	☐	☐
ValveVod	"fbValve_Solenoid"			☒	☒	☒	☐	☐
fbMotor_Reversing_In...	"fbMotor_Reversing"			☒	☒	☒	☐	☐
M4	"fbMotor_Reversing"			☒	☒	☒	☐	☐
AnalogValve_1	"fbValve_Analog"			☒	☒	☒	☐	☐
rinAnalogValve_1	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐

Рис. 6.8 Інтерфейс функціонального блоку 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).

Аналогічно здійснюється опит стану блоку аналогового керування засувкою (рис. 6.10) (рис. 6.11). Для цього викликаються екземпляр бібліотечного функціонального блоку fbValve_Analog, до входів/виходів якого підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors.

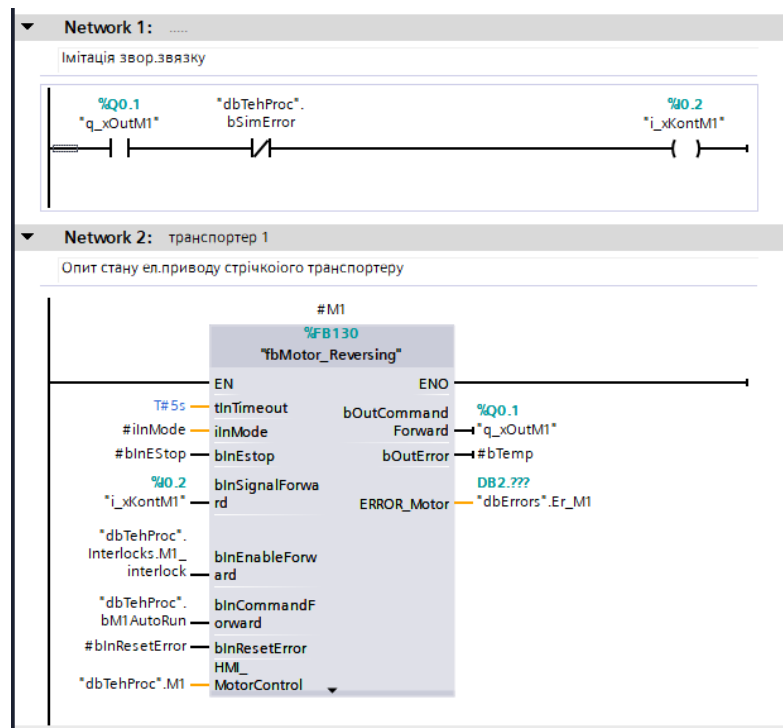


Рис. 6.9 Фрагмент підпрограми fbProc

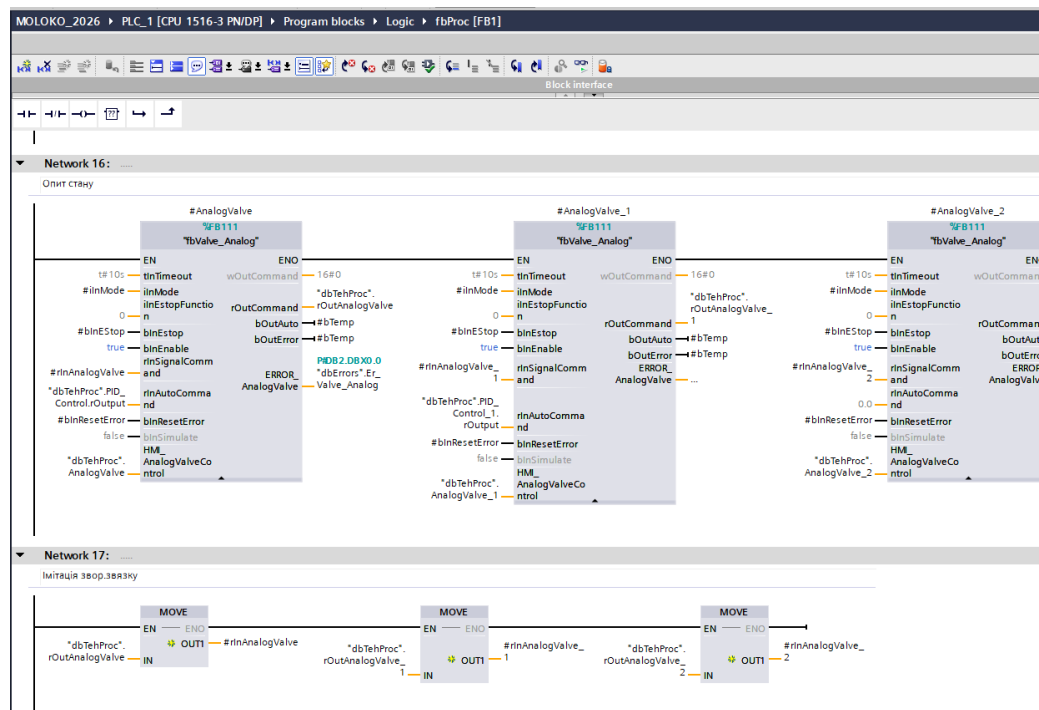


Рис. 6.10 Фрагмент підпрограми fbProc

В кінці програми проводяться перевірки режиму роботи та похибок обладнання.

MOLOKO_2026 ▸ PLC_1 [CPU 1516-3 PN/DP] ▸ Program blocks ▸ Logic ▸ fbAutoRun [F84]

	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Super
1	Input								
2	binEnableStart	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
3	binNotError	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
4	Output								
5	bOutAutoRunning	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
6	InOut								
7	<Add new>								
8	Static								
9	bAutoRun	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
10	bAutoStop	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
11	bZvuk	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
12	bM1	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
13	bSP	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
14	bM2	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
15	bSV	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
16	bSV3	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
17	Timer1	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	
18	Timer2	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	
19	Timer3	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	
20	Timer4	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	
21	Timer5	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	
22	Timer6	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	
23	bM3	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
24	Timer7	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	
25	Timer8	TON_TIME		Non-ret...	☒	☒	☒	☐	
26	Timer9	TON_TIME		Non-retain	☒	☒	☒	☐	
27	Temp								
28	<Add new>								
29	Constant								

Рис. 6.12 Інтерфейс функціонального блоку fbAutoRun.

А далі на мові LD пишуться строки цього блоку (рис. 6.13), 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.

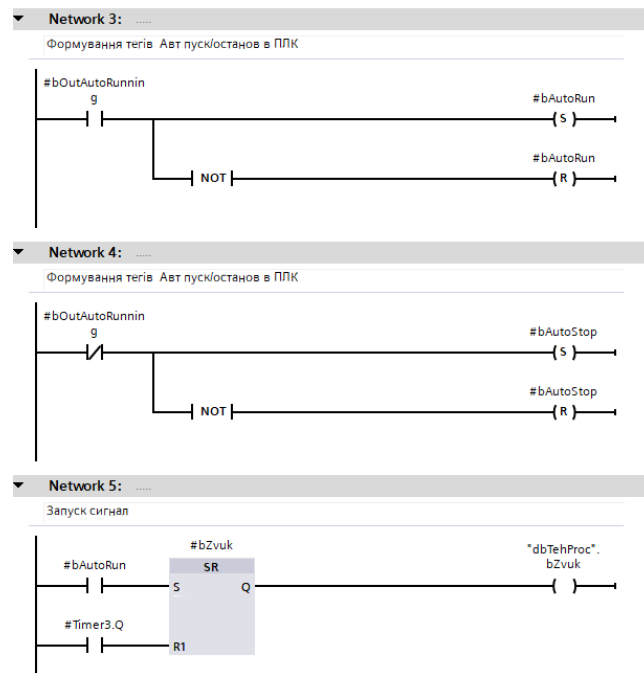


Рис. 6.13 Фрагмент підпрограми fbAutoRun

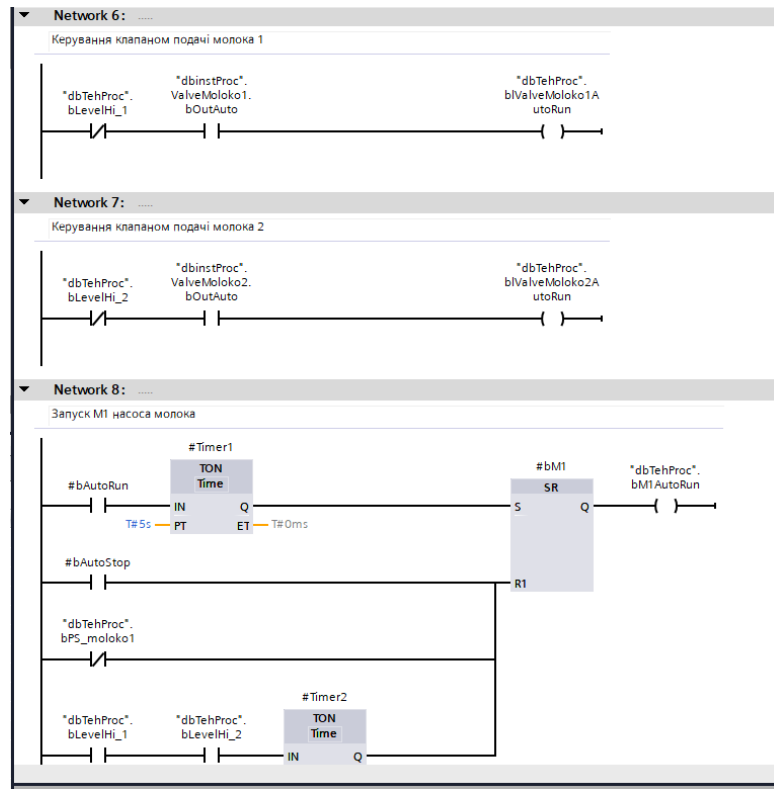


Рис. 6.14 Фрагмент підпрограми fbAutoRun

Завершують підпрограму строки із визначенням поточного режиму роботи лінії приймання молока (рис. 6.15).

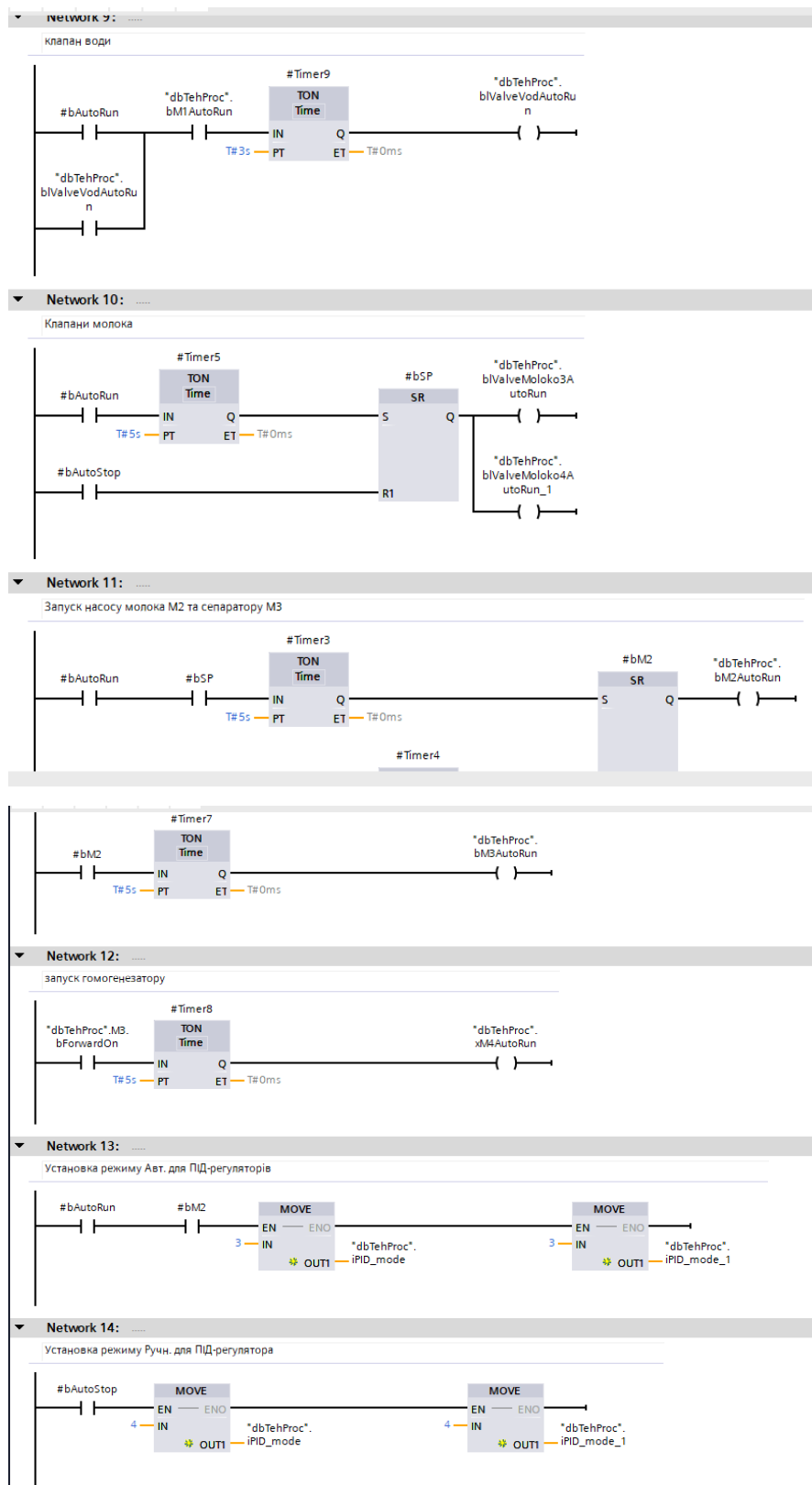


Рис. 6.15 Фрагмент підпрограми fbAutoRun.

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

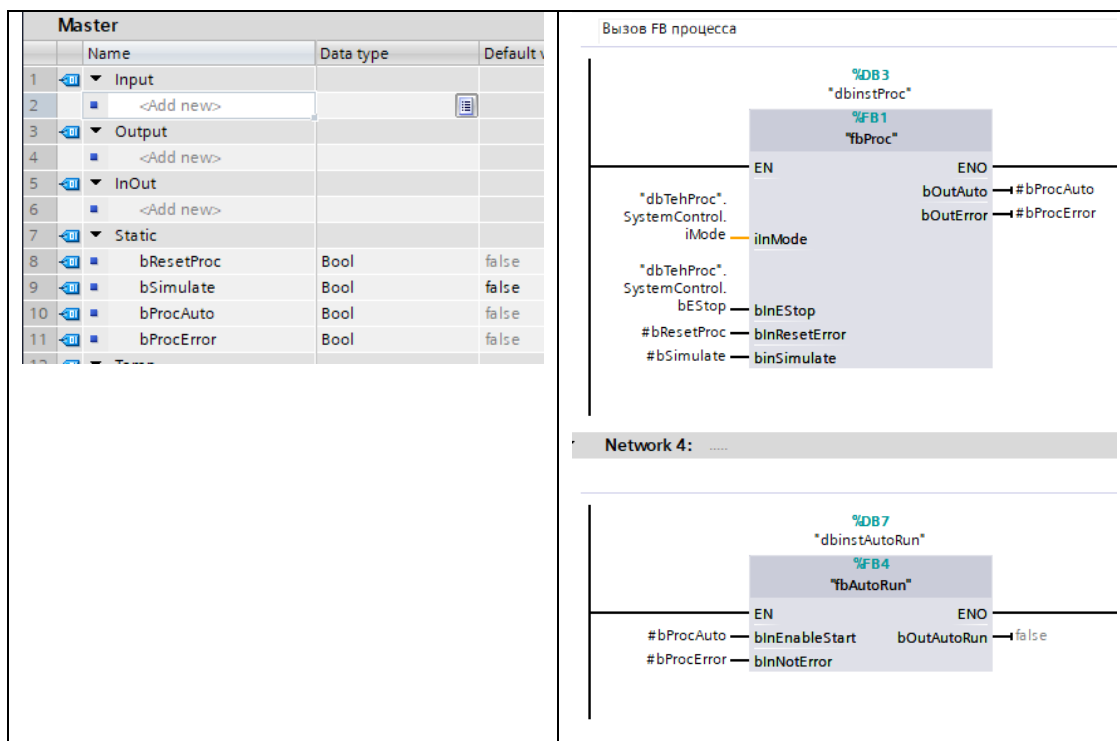


Рис. 6.16 Інтерфейс та текст підпрограми Master

Циклічне виконання цих підпрограм забезпечує опит стану обладнання, його автоматичний пуск і зупинку лінії приймання молока.

6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання

Алгоритми регулювання температури готового продукту та щільності напівпродукту були розроблені і протестовані в розділах 1..3, де були визначені параметри моделі об'єкту керування і параметри ПД-регуляторів.

В середовищі TIA Portal модель SAR температури готового продукту та щільності напівпродукту реалізовані 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	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Super
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	28	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
14	Zap_1	*LSim_Lagging			☒	☒	☒	☒	☒
15	ApZveno_2	*LSim_PT1			☒	☒	☒	☒	☒
16	ApZveno_3	*LSim_PT1			☒	☒	☒	☒	☒
17	uDelayCycles_1	UInt	38	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
18	▼ Temp				☐	☐	☐	☐	☐
19	bTemp	Bool			☐	☐	☐	☐	☐
20	iTemp	Int			☐	☐	☐	☐	☐
21	diTemp	DInt			☐	☐	☐	☐	☐
22	dwTemp	DWord			☐	☐	☐	☐	☐
23	rTemp	Real			☐	☐	☐	☐	☐
24	▼ Constant				☐	☐	☐	☐	☐
25	<Add new>				☐	☐	☐	☐	☐

Рис. 6.17 Інтерфейс функціонального блоку fbSAR

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

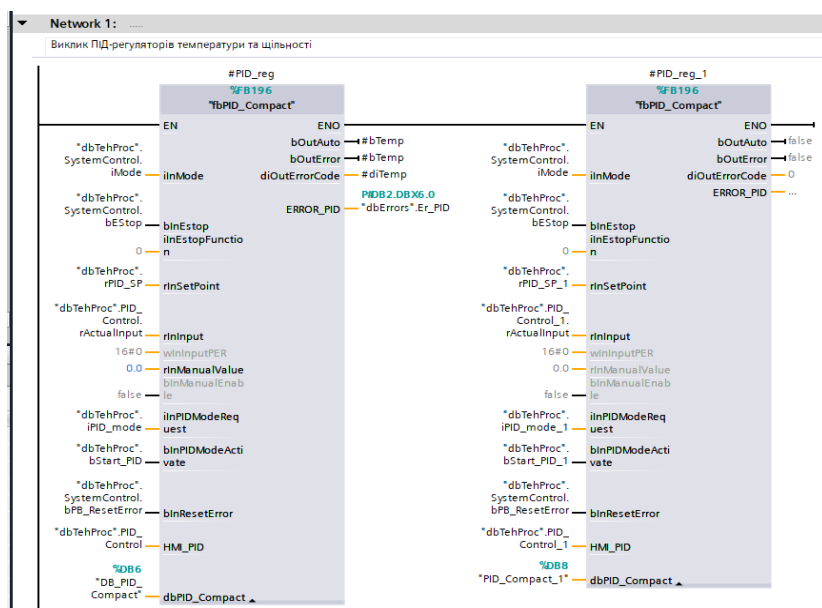


Рис. 6.18 – Фрагмент функціонального блоку fbSAR, що реалізує ПІД-регулятори.

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

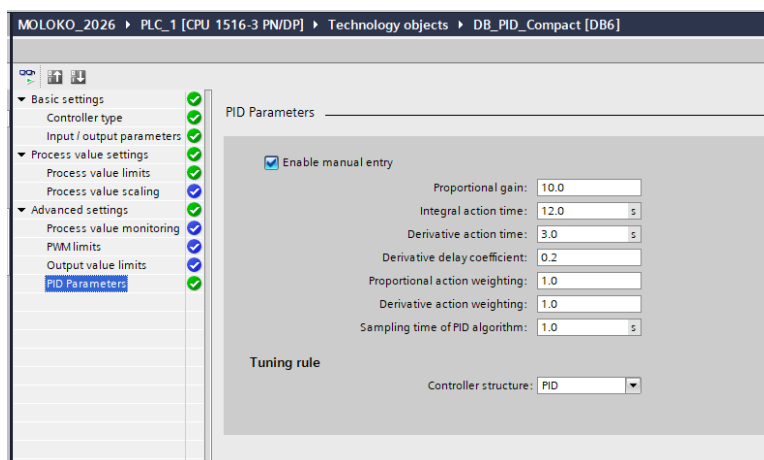


Рис. 6.19 Приклад налаштування параметрів ПІД-регулятора температури готового продукту.

Вихідний сигнал ПІД-регулятора підключається до входів функціонального блоку аналогового клапану (див. рис. 6.10).

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, отриманим

при ідентифікації моделі ОК.

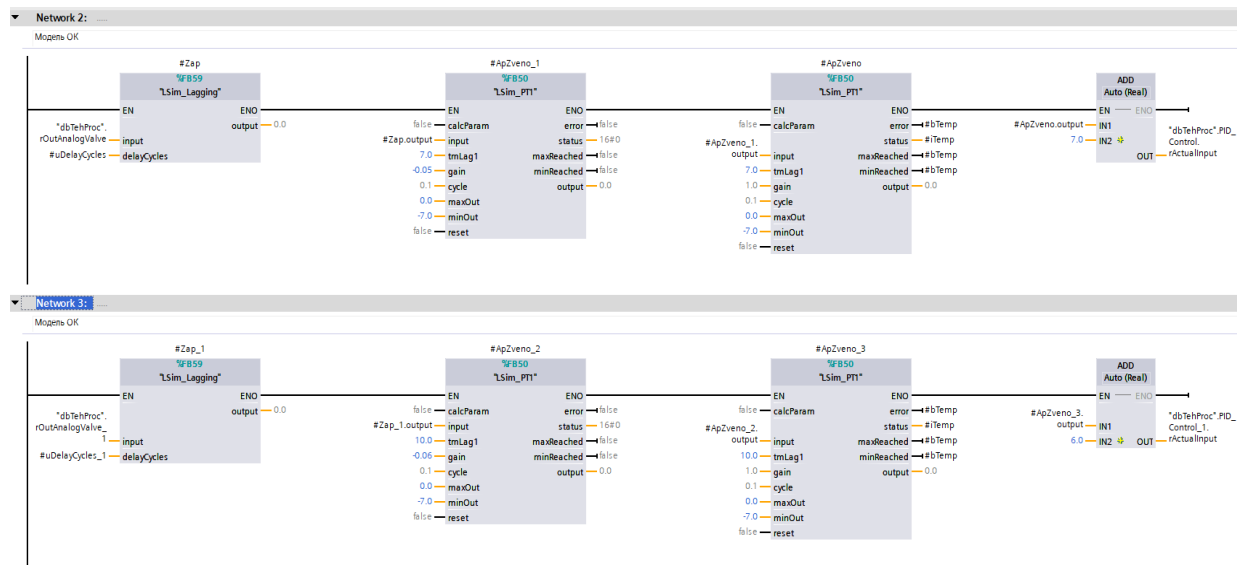


Рис. 6.20 Фрагмент функціонального блоку fbSAR,
що реалізує фрагмент моделі ОК.

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.

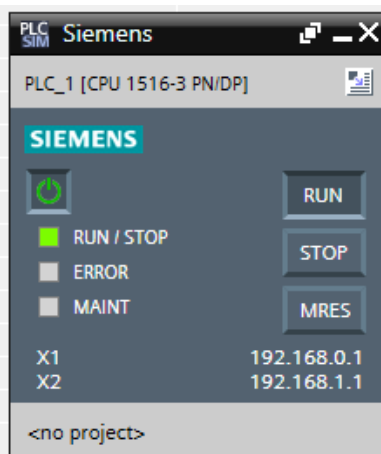


Рис. 6.21 Вигляд вікна програми PLCSIM

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

6.4 Висновки за розділом

В результаті виконання даного розділу були отримано навички використання документації виробника, правильного вибору необхідних модулів контролерів і ПЗО сімейства S7-1500.

Отримано практичний досвід програмного конфігурування контролерів сімейства S7-1500 в середовищі TIA Portal та розробки програм логічного керування та регулювання для лінії приймання молока.

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 між контролером САК лінії приймання молока та панеллю оператора вибираємо тип сполучення «HMI connection» та встановлюємо унікальні IP адреси технічних засобів в мережі PROFINET (PLC-192.168.0.1; HMI-192.168.0.2).

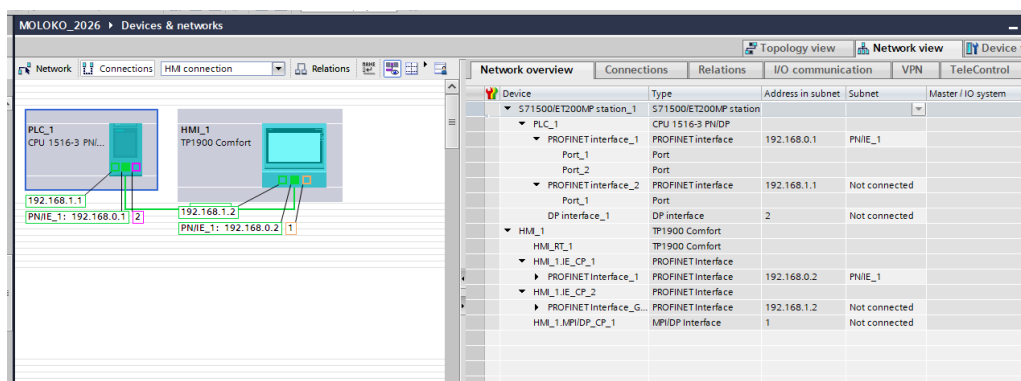


Рис. 7.1 – Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх сполучення в мережі.

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

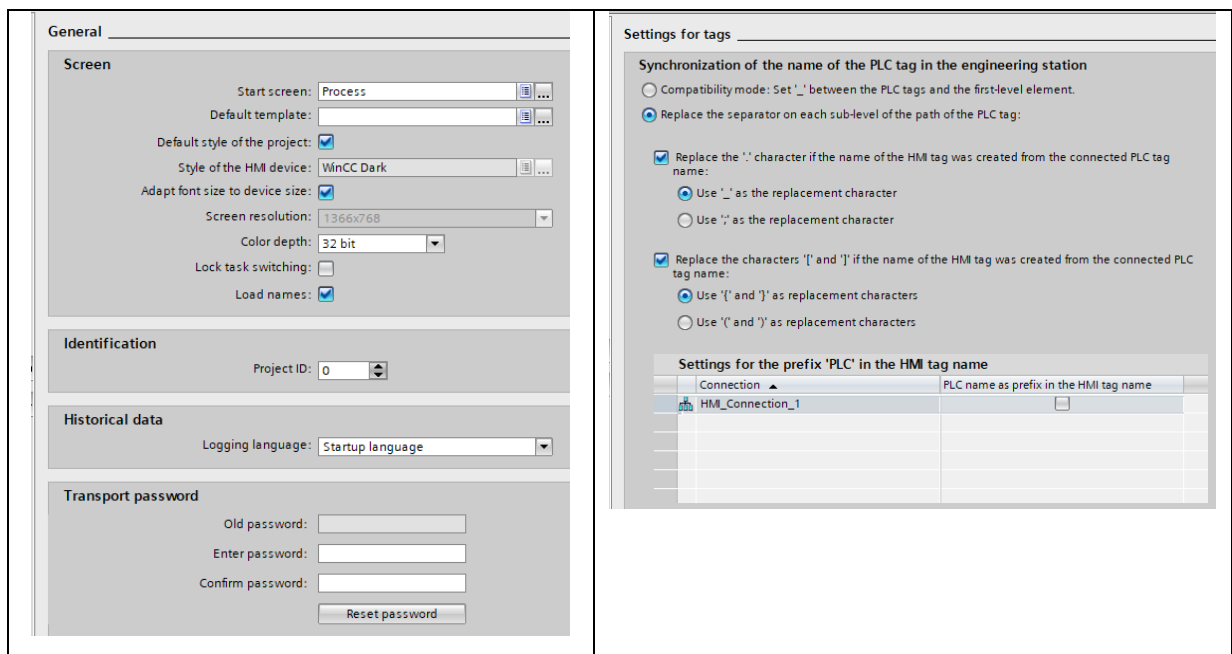


Рис. 7.2 – Конфігурування TP 1900 Comfort.

Щоб пов'язати між собою теги ПЛК та НМІ для САК лінії приймання молока, створюємо таблицю НМІ-тегів Default tag table, куди за допомогою миші перетаскуємо складові блоку даних ПЛК dbTechProc.

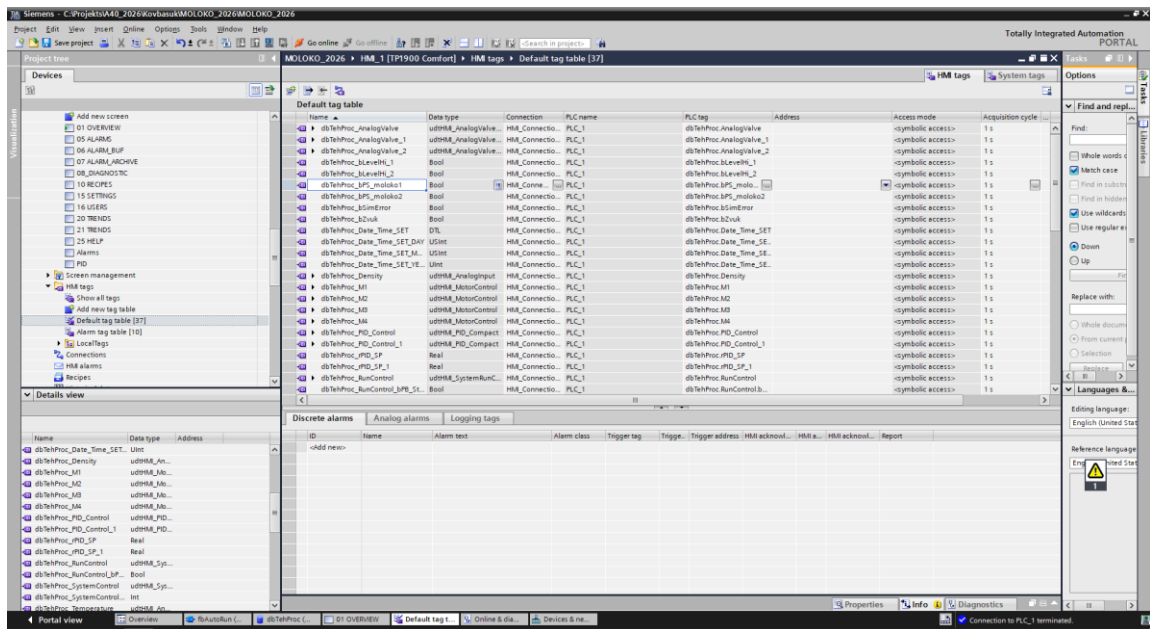


Рис. 7.3 – Приклад створення таблиці НМІ-тегів при реалізації САК лінії приймання молока.

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

7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога.

Структура екранів АРМ оператора-технолога САК лінії приймання молока повинна містити в собі екрани для керування процесом приймання молока:

- екран схеми установки для управління технологічним процесом лінії приймання молока;

- екран для спостереження за регульованими змінними (температури молока, щільність напівпродукту);

- екран для відтворення діагностичних повідомлень про роботу лінії приймання молока.

Функції екранів АРМ оператора-технолога:

- екран схеми установки надає функції управління усіма клапанами та електродвигунами, як в автоматичному режимі, так і в ручному, дозволяє задати режим роботи лінії приймання молока;

- екран для спостереження за регульованими змінними надає можливість спостерігати за графіком зміни температури та щільності в реальному часі, змінювати задане значення та налаштування регулятора;

- екран для відтворення діагностичних повідомлень надає можливість бачити аналогові та дискретні повідомлення про несправності обладнання та порушення регламентів процесу приймання молока, а також перегляду повідомлень, які зберігаються в архіві.

7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.

Шаблон екранів.

Шаблон екранів Template_1 створюється в розділі Screen Management дерева каталогу проекту в розділі НМІ. 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 інформацію о поточному стані роботи ПТЛ, елемент відображення поточної дати і часу, назву проекту, ім'я користувача.

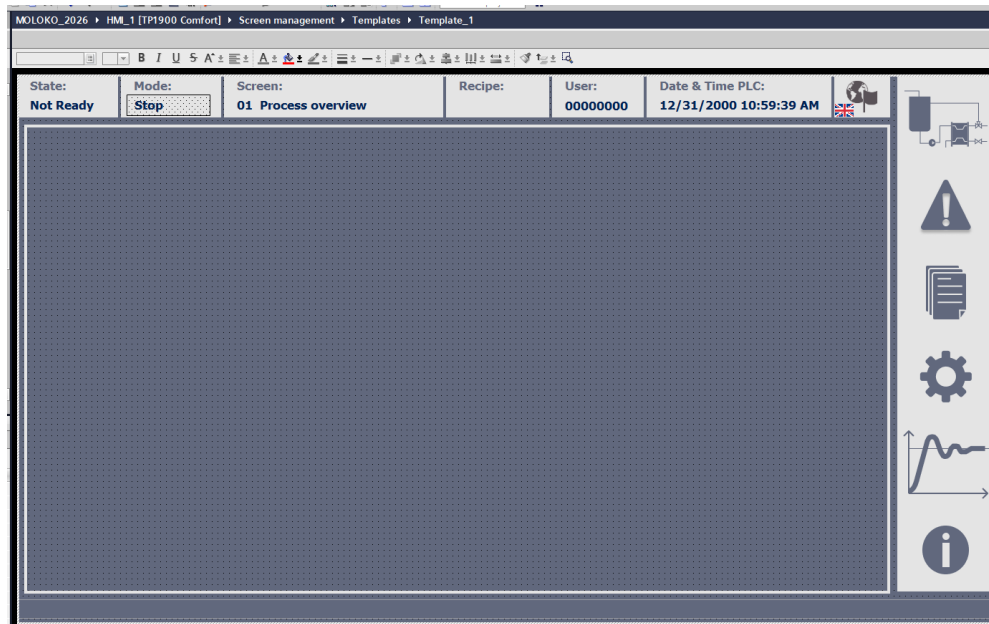


Рис. 7.4 – Загальний вигляд шаблону екранів.

Меню переключення екранів складається з набору кнопок, що дозволяють виконувати перемикання між різними графічними вікнами станції оператора процесом приймання молока. Для перемикання вікон використовуються спеціальні системні функції.

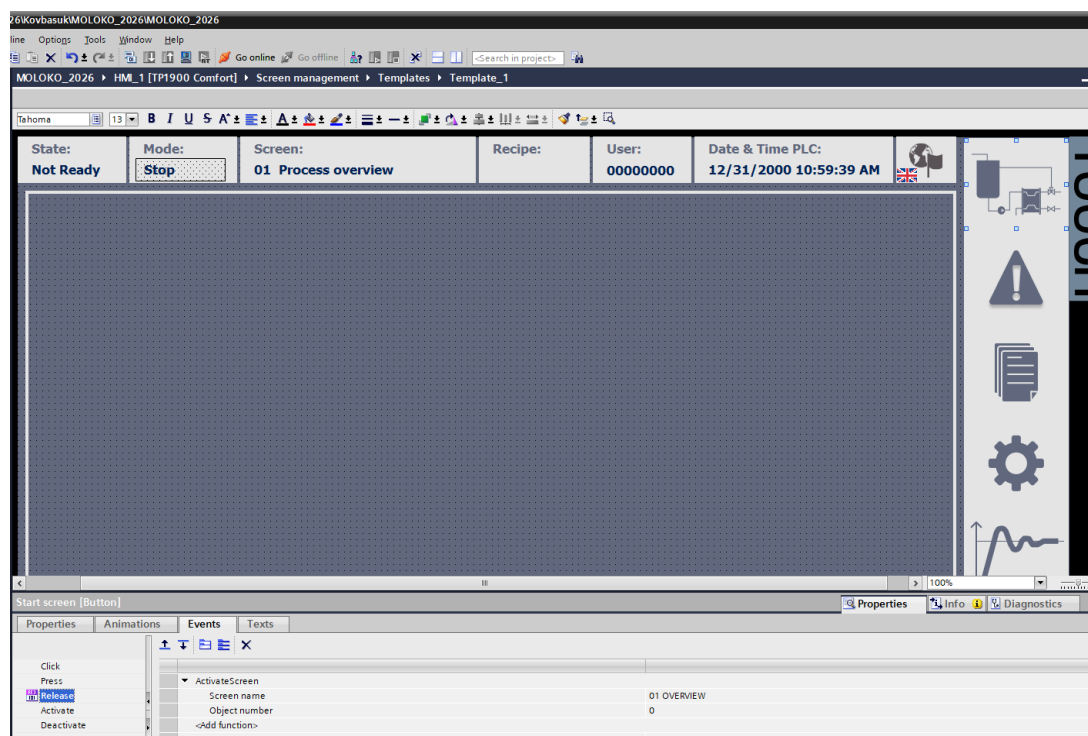


Рис. 7.5 – Приклад використання системної функції «Activate Screen» для перемикавання екранів графічного інтерфейсу АРМ оператора лінії приймання МОЛОКА.

Для кожної одиниці обладнання (двигуни, клапани та інш...) створюємо спливаючі вікна Pop-up screens і заповнюємо їх з відповідного розділу бібліотеки SOL.

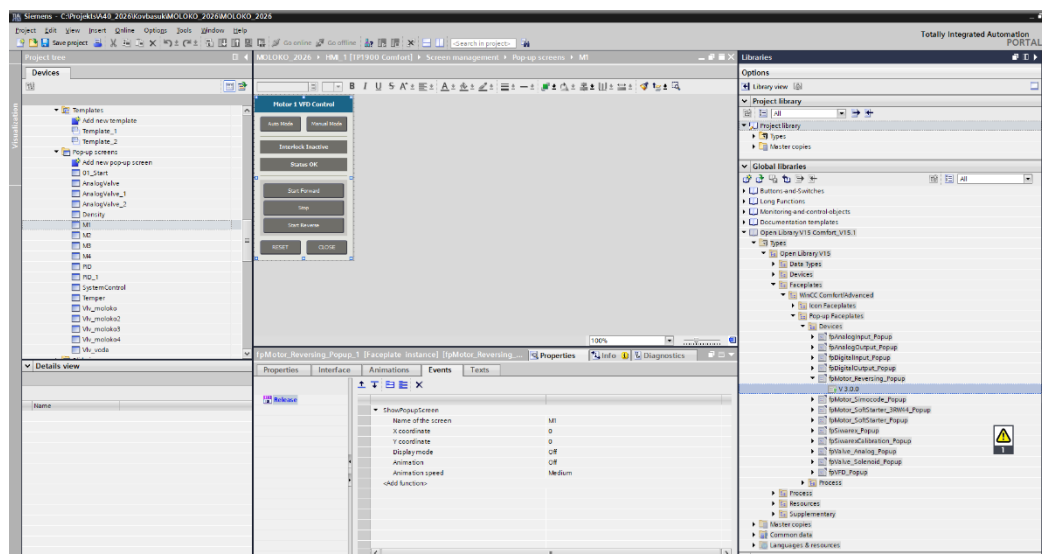


Рис. 7.6 – Приклад створення спливаючих вікон для керування окремим обладнанням лінії приймання молока.

У властивостях Properties кожного спливаючого вікна на вкладці Interface встановлюємо взаємозв'язок із тегом НМІ (структурним тегом), який буде забезпечувати динамізацію зображення вікна та можливість керування оператором станом електроприводів та клапанів.

Основний екран «Схема установки» містить схематичне зображення технологічної схеми лінії приймання молока з нанесеними на нього елементами відображення і керування. Зображення створено в графічному редакторі ТІА Portal з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора. Встановлені на схемі графічні елементи відображення і управління дозволяють оператору контролювати стан обладнання установки і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням лінії.

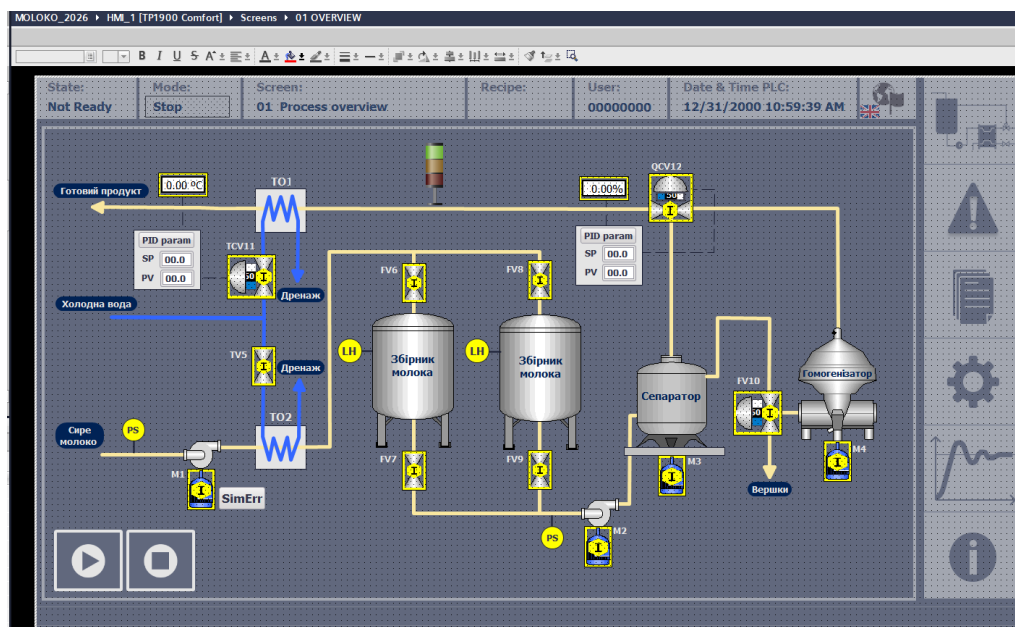


Рис. 7.7 – Головний екран АРМ оператора лінії приймання молока.

Для цього на проєкцію екрану перенесемо за допомогою миші з відповідного розділу бібліотеки SOL піктограми обладнання.

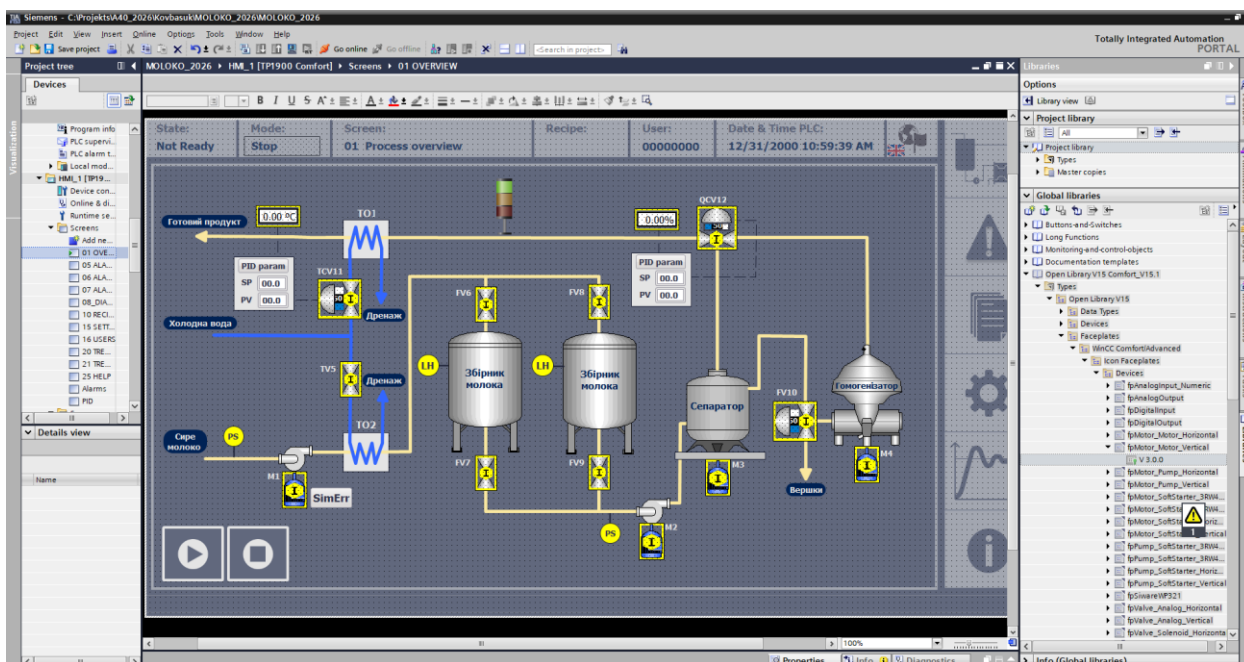


Рис. 7.8 – Приклад налаштування піктограми електроприводу насосу.

Натискання на зображення піктограми забезпечить відкривання

зображення відповідного спливаючого вікна конкретної одиниці обладнання, оскільки у властивості Events піктограми вписано виконання системної функції ShowPopurScreen.

Для реєстрації зміни температури готового продукту, щільності напівпродукту та налаштування параметрів ПІД-регуляторів в проекті передбачений екрани «20 TRENDS» та «21 TRENDS» (рис. 7.9).

Для побудови графіків зміни температури готового продукту використовується елемент Trend View із стандартної бібліотеки. Приклад його налаштування наведений на рис. 7.10.

Виклик спливаючого вікна налаштування параметрів ПІД-регулятора температури готового продукту здійснюється натисканням відповідної кнопки на екрані «Схема установки» (рис.7.7).

Змінити задане значення температури готового продукту можна за допомогою вікна вводу/виводу. Приклад налаштування вікна вводу/виводу та кнопки наведено на рис. 7.11.

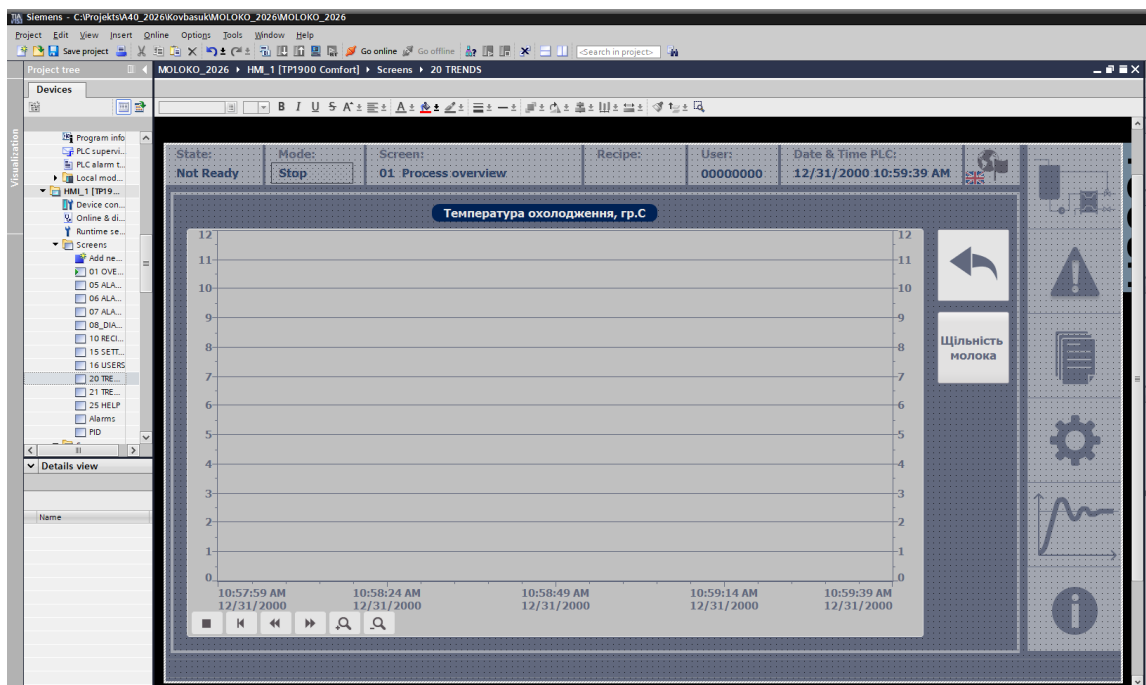


Рис. 7.9 – Екран графіків для температури готового продукту.

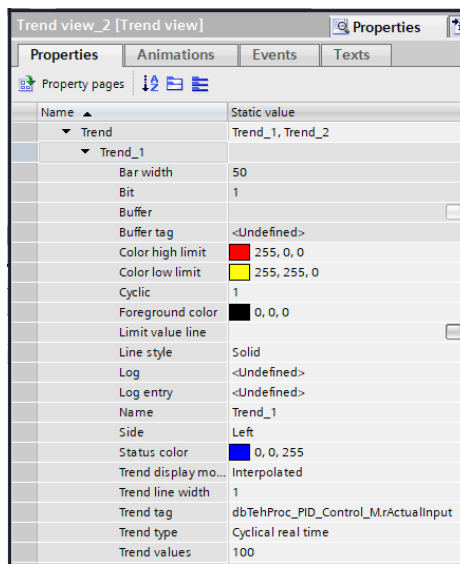


Рис. 7.10 – Вікно налаштування елементу Trend.

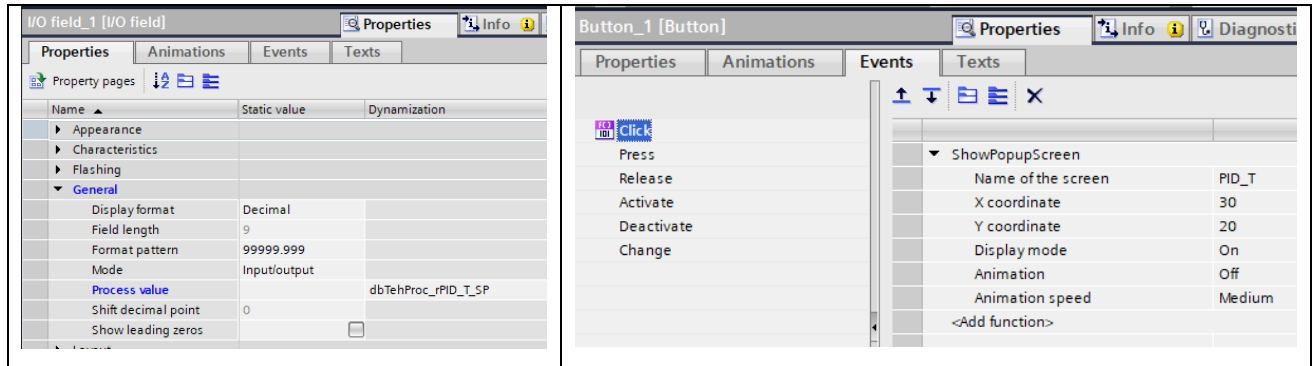


Рис. 7.11 – Налаштування вікна вводу/виводу та кнопки.

Для інформування оператора про стан технологічного процесу приймання молока і виникнення подій (Alarm) з обладнанням лінії в проекті створена система повідомлень. Вона включає повідомлення від програми користувача і системні повідомлення операційної системи 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 станції АРМ оператора процесу приймання молока.

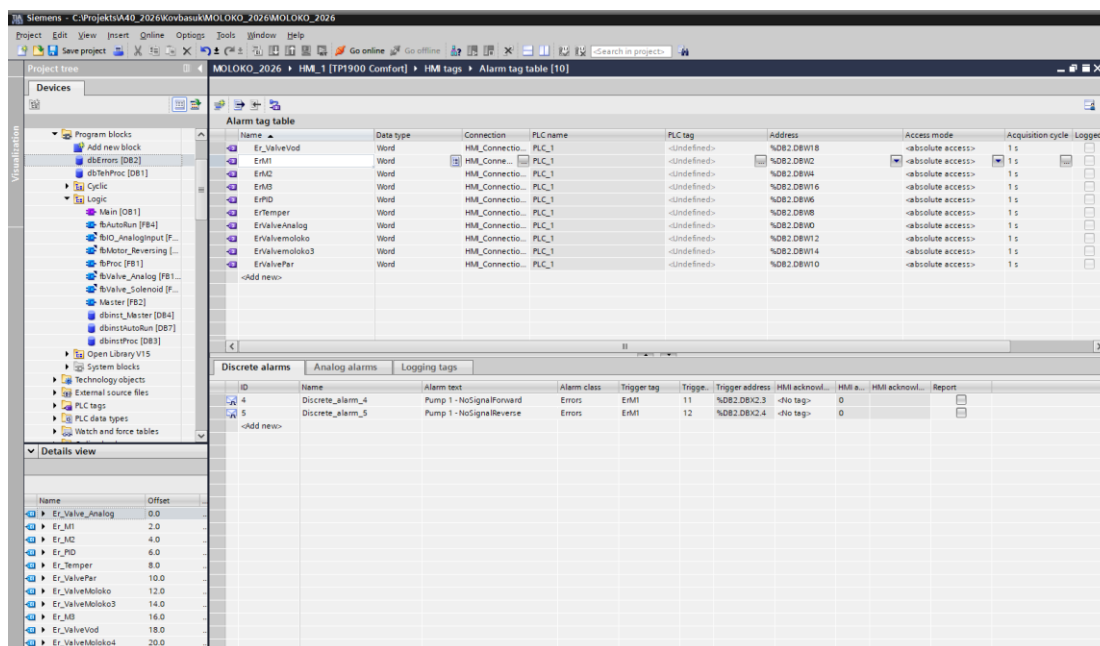


Рис. 7.12 – Приклад прив'язки тегів dbErrors з НМІ-тегами для обладнання лінії приймання молока.

Кожний біт НМІ-тега з «Alarm tag table» сортуємо по типам та по класам Errors або Warnings (див. рис. 7.12). Кожному з цих бітів відповідає своє повідомлення (Alarm text). Аналогові повідомлення створюємо окремо. Приклад створення аналогових повідомлень для температури готового продукту наведено на рис. 7.13.

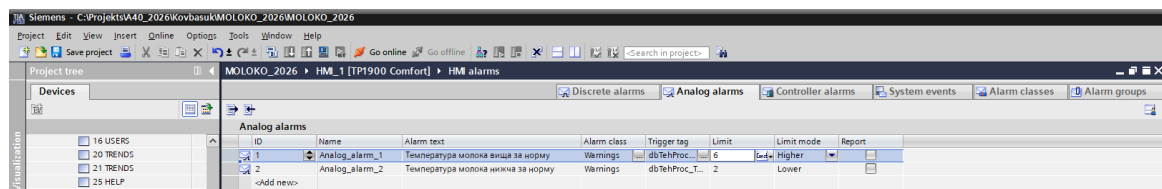


Рис. 7.13 – Приклад створення аналогових повідомлень.

Встановлюємо максимальне граничне значення температури готового

продукту – 6 °С.

Для відображення цих повідомлень для оператора створюємо екран Alarms (див. рис. 7.14).

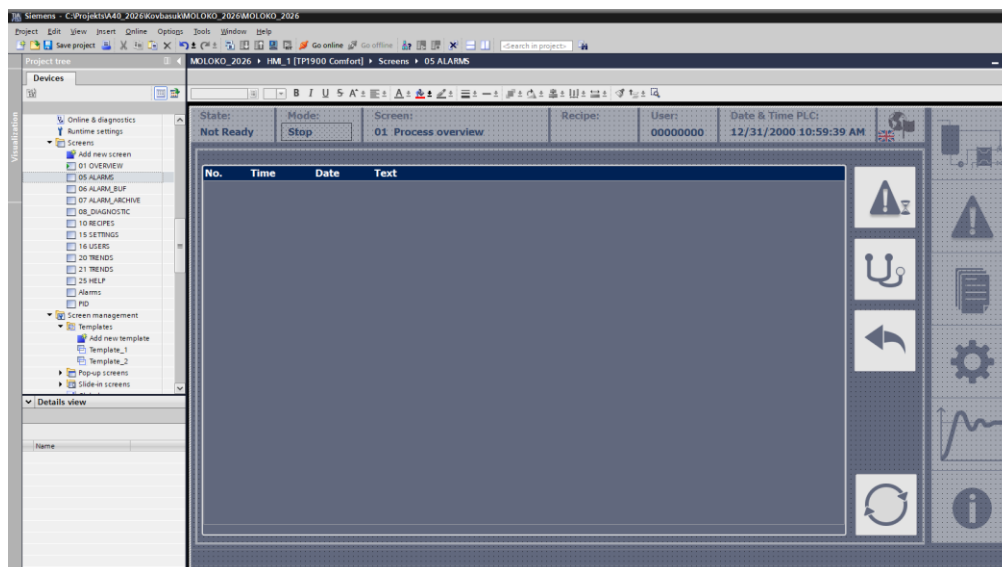


Рис. 7.14 – Екран Alarms повідомлень про несправності в системі керування процесом приймання молока.

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. Приклад налаштування наведено нижче на рис. 7.15.

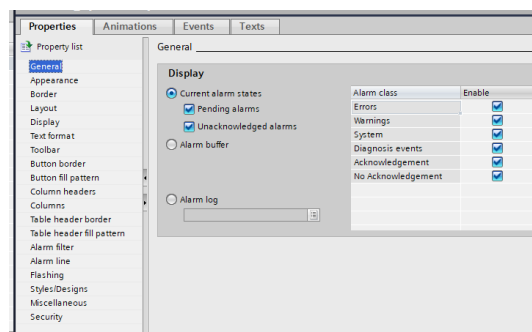


Рис. 7.15 – Налаштування властивостей елемента Alarm View

При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів. Елемент (рис. 7.15) налаштований на вивід поточних активних повідомлень.

7.4 Тестування системи керування.

Тестування роботи САК процесу приймання молока проведемо в режимі емуляції контролера з використанням програми S7-PLCSIM, в середовище якої завантажуюмо проект ПЛК після його компіляції. Відображення екранів виконується в режимі симуляції в середовищі WinCC Runtime Advanced, куди після компіляції завантажуюмо проект HMI.

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

Результати тестування роботи системи наведено на рис. 7.16 – 7.19.

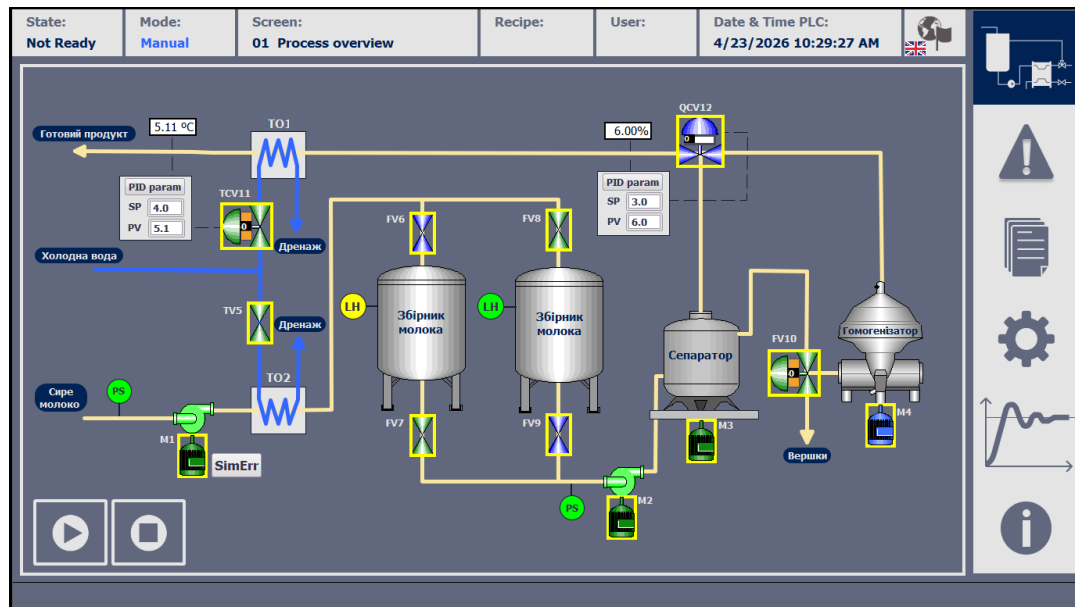


Рис. 7.16 – Схема установки лінії приймання молока в ручному режимі керування.

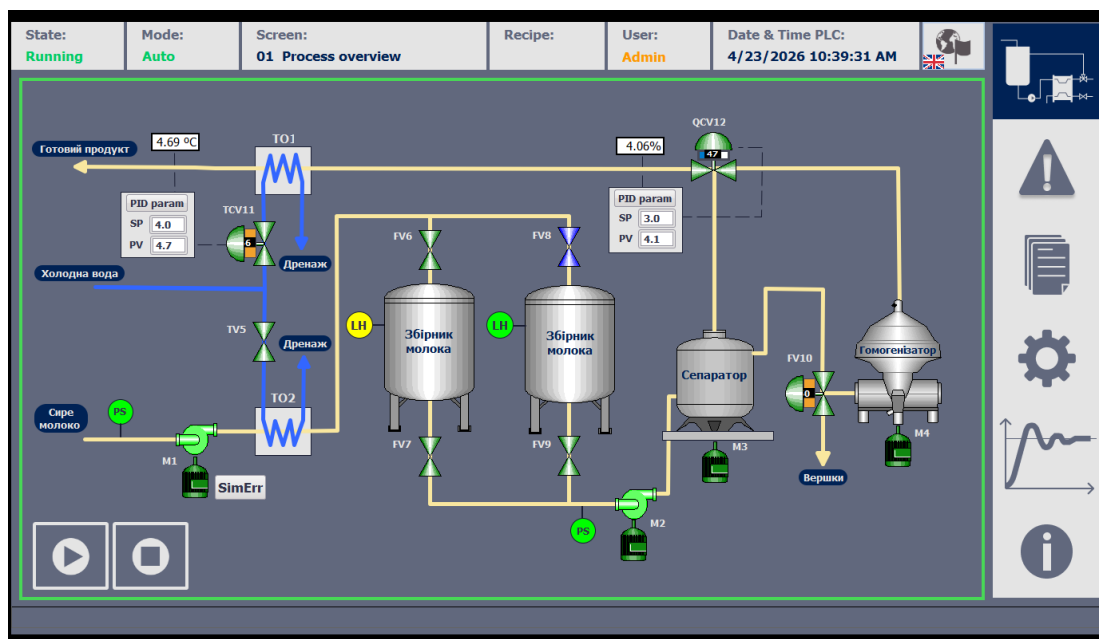


Рис. 7.17 – Схема установки лінії приймання молока в автоматичному режимі керування.





Рис. 7.18 – Екрани «20 TRENDS» та «21 TRENDS» з відображенням температури та щільності молока в тестовому режимі.

Екран Alarms відображення повідомлень в тестовому режимі при запуску лінії у роботу наведено на рис. 7.19.

No.	Time	Date	Text
1	11:17:05 AM	4/23/2026	Температура молока вища за норму
1	11:12:49 AM	4/23/2026	Температура молока вища за норму
1	11:11:51 AM	4/23/2026	Температура молока вища за норму
140000	11:11:51 AM	4/23/2026	Connection established: HMI_Connection_1, Station 192.168.0.1, Rack 0, Slot 1.
110001	11:11:49 AM	4/23/2026	Change to operating mode 'online'.
70018	11:11:49 AM	4/23/2026	User administration imported successfully.
70022	11:11:49 AM	4/23/2026	User administration import started.
80026	11:11:49 AM	4/23/2026	Log initialization ended. All logs OK.
80028	11:11:49 AM	4/23/2026	Log initialization started.

Рис. 7.19 – Екран Alarms в тестовому режимі при запуску лінії приймання молока.

Проведемо тестування системи повідомлень при виникненні помилки в обладнанні установки. На рис. 7.20 наведено екран Alarms в тестовому режимі при імітації несправності обладнання (насосу молока).



Рис. 7.19 – Екран Alarms в тестовому режимі при імітації несправності обладнання (насосу молока) лінії приймання молока.

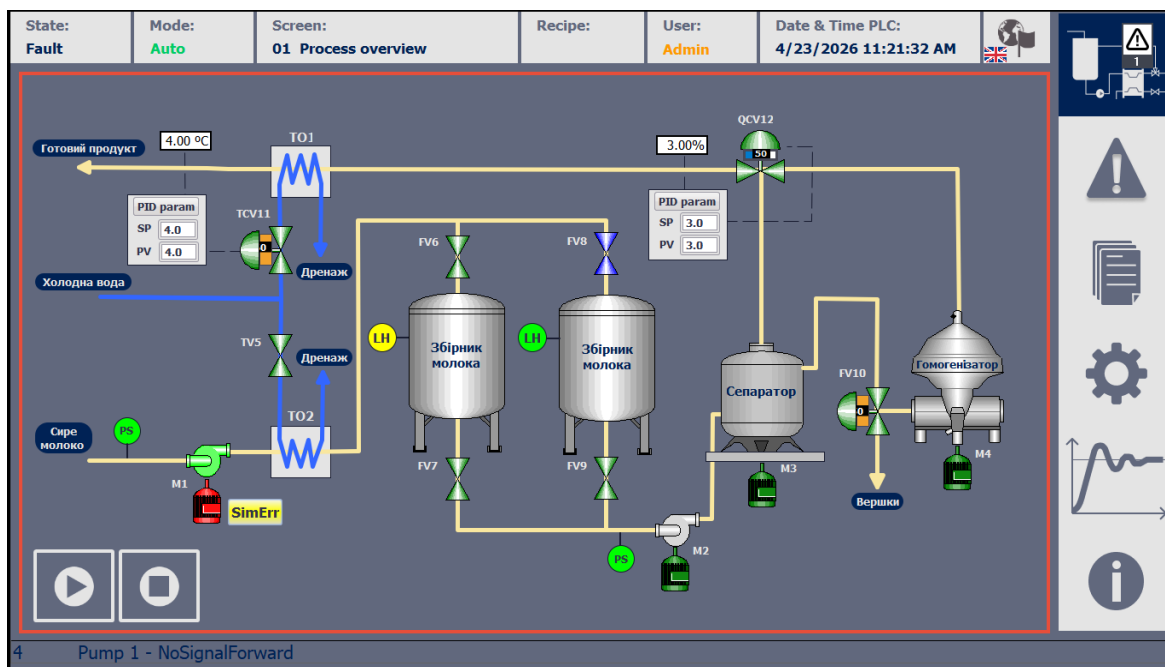


Рис. 7.20 – Головний екран в тестовому режимі при імітації несправності обладнання (насосу молока) лінії приймання молока.

7.5 Висновок за розділом: у цьому розділі роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи керування технологічним процесом приймання молока. Створені екран з відображенням технологічної схеми установки для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу (температури готового продукту та щільності напівпродукту) та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування.

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

РОЗДІЛ 8 РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ САК, ВКЛЮЧАЮЧИ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ

8.1 Характеристики технологічного об'єкта керування та опис основних технічних рішень

Процес приймання молока призначений для отримання молока відповідної якості та консистенції. При цьому температура готової продукції повинна дорівнювати 4 °С, а щільність підтримуватися на рівні 3%.

Для реалізації системи автоматичного керування (САК) ділянкою приймання молока запропонована технічна структура, яка представлена на рис. 8.1.

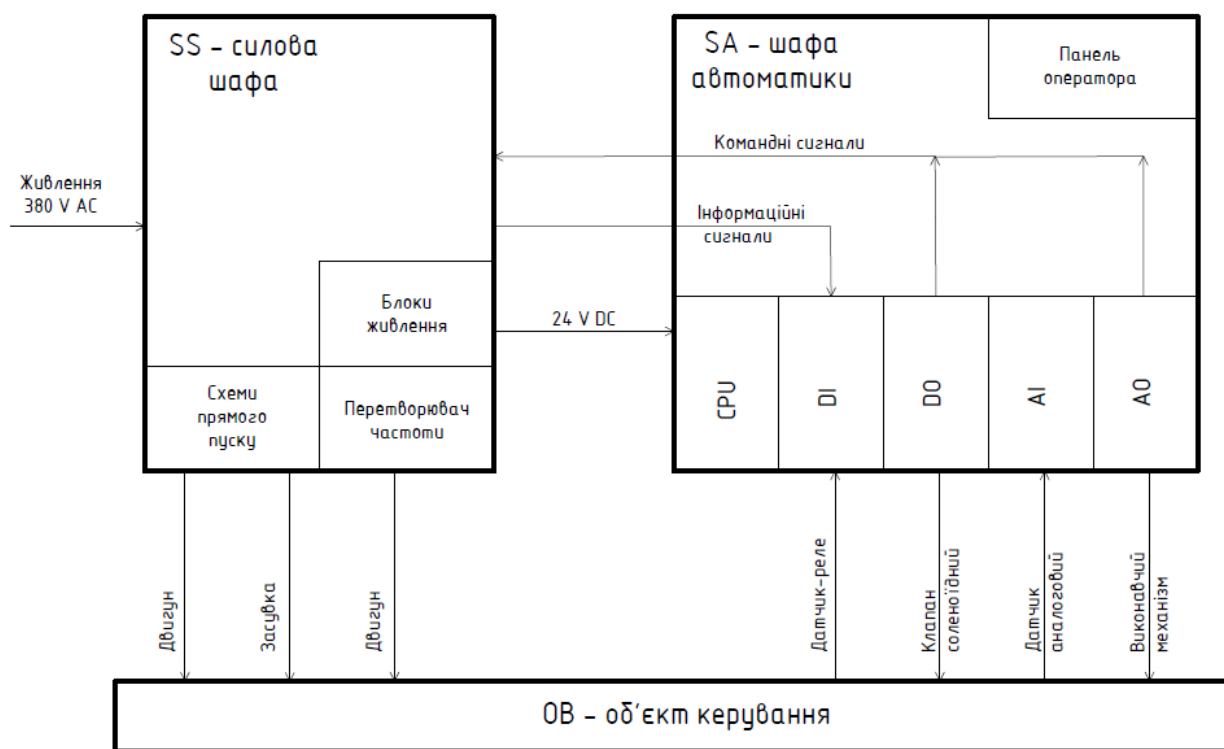


Рис. 8.1 Структура САК

В силовій шафі розміщені технічні засоби для керування

електроприводами та блоки живлення. В шафі автоматики розміщені технічні засоби інтелектуальної частини САК. Таке технічне рішення дозволяє зменшити вплив струмів, які протікають по силовим кабелям, на роботу ПЛК і панелі оператора, що покращує завадостійкість системи керування.

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

Графічні:

- 1 – схему автоматизації;
- 2 – принципову електричну схему (ПЕС) керуванням електроприводу;
- 3 – ПЕС живлення;
- 4 – схему мережевих зв'язків;
- 2 – ПЕС підключення до блоку дискретних входів ПЛК;
- 3 – ПЕС підключення до блоку дискретних виходів ПЛК;
- 4 – ПЕС підключення до блоку аналогових входів ПЛК;
- 5 – ПЕС підключення до блоку аналогових виходів ПЛК.

Текстові:

- попередній перелік обладнання до всіх графічних документів;
- пояснювальна записка до проекту.

Елементи керування та живлення електроприводів встановлюються в силовій шафі на DIN-рейку 35 мм. Шафа оператора знаходиться у спеціальному операторському пункті (ОП). На внутрішній площі шафи оператора встановлюють ПЛК та елементи живлення до нього, а на фасадній двері – панель оператора.

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

Всі модулі вводу/виводу серії SIMATIC S7-1500 та CPU монтуються на DIN-рейку 35 мм 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 регульованих змінних, а також передачі даних на панель оператора. CPU та модулі забезпечують виконання наступних основних функцій:

- прийом і дешифрацію команд по мережах PROFINET;
- введення, фільтрацію й нормалізацію аналогових сигналів входу та виходу – модуль AI 4xU/I (6A7 1531-7KF00-7AB0) та модуль AO 4xU/I/6ES7 (6AG 1532-5HD00-7AB0);
- опитування стану дискретних входів - модуль DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) та вивід із дискретних виходів сигналів керування - модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0).

Взаємодія контролера і панелі оператора здійснюється по мережі PROFINET. Для керування 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

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 ISO 14617-6:2018 «Графічні умовні позначки для схем. Частина 6. Функції вимірювання та керування». 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...20mA DC), вихідні аналогові сигнали напруги (0...10 V DC) і сприймаються виконавчими механізмами.

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

- 1 – 4 керування та контроль стану електроприводів M1, M2, M3, M4;
повітряними засувками TV1-TV4;
- 5 – 10 – керування та контроль стану соленоїдних клапанів TV5, FV6-FV10;
- 11 - 12 – контроль і регулювання температури продукту та його щільності;
- 13 - 14 - контроль тиску молока перед насосами.

У контурах 1 - 10 керування приводами передбачені функції місцевого керування, які реалізуються за рахунок технічних засобів, що розміщені у силовій шафі, функції дистанційного керування з панелі оператора та функції автоматичного керування у часі по програмі в ПЛК.

У контурі 11 реалізована система контролю та регулювання температури продукту. Розглянемо дію цього контуру. Від датчика температури з уніфікованим перетворювачем TY/11 пропорційний температурі сигнал струму 4...20 mA DC подається на регулятор TIRC/11, який формує керуючий вплив у вигляді 0...10 V DC, що подається виконавчий механізм клапану TCV11. Регулятор програмно реалізований в ПЛК. В контурі передбачена функції ручного задатчика і індикації регульованої змінної HIC/7, які реалізовані в панелі оператора.

Аналогічно працює і контур 12 системи контролю та регулювання щільності продукту.

В контурах 13, 14 сигнал від датчиків-реле тиску молока PS/13, PS/14 з уніфікованим виходом у вигляді напруги 0-24 V DC, подається на ПЛК і дозволяє сформувати функції індикації та сигналізації PIS13, PIS14 на панелі оператора.

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

8.3. Розробка принципової електричної схеми керуванням електроприводом

Всі компоненти схеми розміщуються в силовій шафі SS. Дана ПЕС забезпечує місцеве і дистанційне керування. Живлення електропривода M1 здійснюється від мережі типу TN через автомат захисту електродигуна Q1, клеми контактора KM1, кабель W2 та вимикач OB-Q1.

Місьцеве керування електроживленням котушки контактора KM1 здійснюється від фази L1 завдяки використанню автоматичного вимикача Q2, кнопки Стоп S2 та кнопки Пуск S4. Перемикання в дистанційний режим здійснює перемикач S3. Керуючий сигнал від модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) контролера формує проміжне реле K2, яке своїм контактом здійснює електроживлення котушки KM1.

Стани KM1, S3, K1 у вигляді сигналів 24 V DC подаються до дискретних входів модуля DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0).

8.4. Розробка принципової електричної схеми живлення

Дана схема забезпечує живлення модулів ПЛК і панелі оператора. Всі її компоненти розміщуються в силовій шафі SS. Живлення здійснюється від фази L1 через автоматичний вимикач Q4 та блок безперебійного живлення UPS. До його виходів через автоматичні вимикачі Q6, Q7 підключені два джерела живлення G1, G2 220 V AC/ 24 V DC, які забезпечують напругу живлення для модулів ПЛК і панелі оператора. Вихідні ланки G1, G2 захищені від режиму «короткого замикання» запобіжниками F2, F3.

Освітлення в шафі забезпечує лампа H2, яка отримує живлення від фази L1 через кнопку S7. В шафі передбачена розетка REC1, яка отримує живлення від фази L1 через диференційний вимикач Q5.

8.5. Розробка принципових електричних схем підключення до модулів ПЛК

До дискретних входів модуля DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) по кабелях W 4, 5, що підключаються до клем SA-X1, подаються сигнали 0 або 24 V DC, які характеризують поточний стан апаратури керування

електроприводами, що встановлена у силовій шафі і забезпечує локальне (місцеве) керування. По кабелям W8, W9, що підключається до клем SA-X1, передаються сигнали від датчиків-реле тиску PS/13, PS14, а по кабелям W20, W21, що підключається до клем SA-X1, передаються сигнали від датчиків-реле рівня молока LS/15, LS/16.

На дискретних виходах модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) формуються сигнали 0 або 24 V DC, які по кабелям W1, 4, 5, що підключаються до клем SA-X1, передаються у силову шафу в схему керування електроприводами M1, M2. Також до виходу модуля дискретних виходів по кабелям W13 -18, що підключаються до клем SA-X1, підключаються проміжні реле TV5, FV5...FTV10, для керування відповідними соленоїдами клапанів.

Модуль аналогових входів AI 4xU/I (6A7 1531-7KF00-7AB0) розміщується на на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. До його аналогових входів за допомогою екранованих кабелів W22, 23, що під'єднуються до клем SA-X1, підключаються датчики температури і щільності молока з уніфікованим виходом 4...20 mA DC TY11, QY12.

Модуль аналогових виходів AO 2xU/I/6ES7 (6AG 1532-5HD00-7AB0) розміщується на на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. Аналоговий вихід цього модуля формує сигнали 0...10 V DC, які за допомогою кабелів W24, 24, що підключаються до клем SA-X1, передає сигнал керування на виконавчі механізми TCV11, QCV 12.

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

8.6 Охорона праці

На основі джерел [], правила техніки безпеки при монтажі та експлуатації електродвигунів, а також пов'язаних з ними апаратів керування та засобів автоматики включають такі пункти:

Загальні правила встановлення та розміщення електродвигунів

Доступність для обслуговування: Електродвигуни та апарати їх керування та захисту повинні встановлюватися так, щоб вони були доступні для огляду, заміни та, по можливості, ремонту на місці. Для обладнання масою 100 кг та більше повинні бути передбачені такелажні пристрої.

Огородження обертових частин: Органи електродвигунів і частини, що обертаються, що з'єднують їх з механізмами (муфти, шківи), повинні мати захисні огороження для запобігання випадковому дотику.

Захист від зовнішніх впливів: Устаткування повинно вибиратися та встановлюватися так, щоб унеможлиблювалося потрапляння на обмотки та струмопровідні частини води, олії, емульсії та інших рідин.

Обмеження вібрації та шуму: Вібрація обладнання, фундаментів і частин будівлі, а також шум, що створюється двигуном, не повинні перевищувати допустимих значень та санітарних норм.

Пожежна безпека: Електродвигуни та апарати (крім тих, що мають ступінь захисту оболонки IP44 та вище), а також реостати та резистори повинні встановлюватися на відстані не менше 1 метра від будівельних конструкцій із горючих матеріалів.

Обмеження доступу: Електродвигуни, що обслуговують загальнобудинкові системи (насоси, вентилятори, ліфти та ін.), а також їх пускові та захисні апарати повинні бути доступні лише для кваліфікованого персоналу (виключення — кнопки управління).

Апаратура управління та засоби автоматики

Індикація стану: На корпусах апаратів керування повинні бути чіткі знаки, що показують положення «ввімкнено» та «вимкнено». Якщо за положенням рукоятки оператор не може визначити стан апарата, обов'язково передбачається світлова сигналізація.

Аварійне відключення: За наявності дистанційного або автоматичного керування механізмом поблизу нього повинен бути встановлений апарат

аварійного відключення. Цей апарат повинен виключати дистанційний або автоматичний пуск до його примусового повернення у вихідне положення 8. Виняток становлять механізми, що знаходяться в межах видимості оператора, повністю захищені або доступні лише електротехнічному персоналу.

Передпускова сигналізація: При автоматичному або дистанційному керуванні механізмами повинна бути передбачена попереджувальна (світлова або звукова) сигналізація про пуск.

Блокування мимовільного пуску: Щоб уникнути непередбачуваних пусків електродвигуна після короткочасного зникнення та відновлення напруги, повинен застосовуватися блокувальний зв'язок, який автоматично відключає головний ланцюг (якщо за технологією не передбачено самозапуску).

Вимкнення всіх фаз: Апарати управління в ланцюгах електродвигунів повинні відключати від мережі одночасно всі провідники, що знаходяться під напругою.

Кнопкові пости та пульти: Корпус кнопкового апарату керування (наприклад, для вантажопідйомних механізмів з підлоги) повинен бути виконаний з ізоляційного матеріалу або надійно заземлений. Органи ручного керування з підлоги повинні мати пристрій самоповернення в нульове положення (двигун працює тільки при безперервному натисканні кнопки) .

Блокування: Кнопки для реверсивного пуску повинні мати блокування, що унеможлиблює одночасне включення реверсивних контакторів. Якщо механізм має кілька постів керування, повинно бути блокування, яке забороняє одночасне керування з різних постів.

Захист та заземлення

Заземлення: Електродвигуни, а також їх апарати управління та захисту обов'язково повинні бути заземлені відповідно до загальних правил електробезпеки.

Захист від ненормальних режимів: Електродвигуни мають бути захищені від багатофазних коротких замикань, однофазних замикань на землю, від струмів перевантаження та мінімальної напруги (там, де це технічно та технологічно обґрунтовано).

Захист від радіоперешкод: Двигуни, що працюють у складі частотно-регульованих електроприводів, повинні бути оснащені фільтрами придушення радіоперешкод.

Вимоги у пожежо- та вибухонебезпечних зонах

Вибухонебезпечні зони: Електрообладнання з іскристими частинами рекомендується розміщувати за межами вибухонебезпечних зон. Електродвигуни повинні мати відповідний рівень вибухозахисту, а їх максимальна температура поверхні не повинна перевищувати температуру самозаймання навколишнього середовища. Двигуни, що живляться від температури відключення.

Пожежонебезпечні зони: Двигуни повинні мати ступінь захисту оболонки не нижче за IP44 або IP54 (залежно від класу зони). Іскристі частини (наприклад, контактні кільця) повинні розміщуватися не ближче 1 метра від горючих речовин або відокремлюватися від них негорючим екраном. Повітря для вентиляції двигунів не повинно містити горючих парів та пилу.

8.7 Висновок за розділом

В ході виконання розділу було розроблено варіант комплекту технічної документації САК на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-1500.

Розроблений комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування процесу приймання молока. В результаті виконання отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням ПЛК та сучасних пристроїв автоматизації.

РОЗДІЛ 9 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ЗА ТЕМОЮ ПРИЙМАННЯ МОЛОКА.

9.1. Розрахунок капітальних вкладень (інвестицій) на модернізацію обладнання

1. Підрахуємо оптову вартість вибраних нами засобів автоматизації, на основі цін заявлених виробником, на момент розрахування.

Таблиця вартості засобів автоматизації

Засоби автоматизації				
Назва	Тип, марка	Кіл-сть	Ціна без ПДВ, грн	
			За одиницю, грн	Сума, грн
Датчик температури	ТНТС-1РА541506МЗ 6047600	4	9000	36000
Нормувальний перетворювач	НПТ-1К	2	4000	8000
Електропривід Belimo	CQ24A-SZ-T		3300	3300
Комбіновані регулюючі клапани з автоматичним обмеженням витрати	PIQCV		7400	14800
Електродвигун мотор	СІЧ 100	1	1540	1540
Клапан Триходовий Змішувальний	Mut Vdm3 3000e 2	2	8276	16552

Засоби автоматизації				
Назва	Тип, марка	Кіл- сть	Ціна без ПДВ, грн	
			За одиницю, грн	Сума, грн
Ультразвуковий аналізатор молока	ЕКОМІЛК 120	1	25500	25500
Світлодіодні індикатори	HL1-HL2	4	112	448
Мікропроцесорний процесор S7-1200 фірми Siemens	6ES7211-1BE40- 0XB0	1	11800	11800
Модуль вводу дискретних сигналів, 16 каналів, =24В	SM 322	5	1370 (Б.у)	6850
Модуль виводу дискретних сигналів, 16 каналів, =24В; 0,5А	SM 323	1	6500	6500
Модуль вводу аналогових сигналів	SM 331	1	9000	9000
Модуль виводу аналогових сигналів, 4 канали, 4...20 мА	SM 332	1	6500	6500
Світлосигнальна арматура червона	AD22-22DS	3	46	138

Засоби автоматизації				
Назва	Тип, марка	Кіл- сть	Ціна без ПДВ, грн	
			За одиницю, грн	Сума, грн
Блок живлення ~220/=24В	Upower UCMR-75 W-24V	2	1850	3700
Перемикач на 3 фіксованих положення	ALCLR-22	2	136	272
Персональний комп'ютер в комплекті, два порти Etherner, два НЖМД, підтримка RAID	ASUS	1	8000	6000
Двопозиційне реле	АСКО-УКРЕМ MY2 (5A 24В DC)	2	90	180
Контактор	Schneider electric lc1d12	1	2500	2500
Джерело безперебійного живлення	Luxeon UPS1000LE	1	6730	6730
Пост двомісний "Старт-Стоп"	Аско	2	167	334
Світлосигнальна арматура	Schneider XB7EV04BP	3	431	1293

Засоби автоматизації				
Назва	Тип, марка	Кіл- сть	Ціна без ПДВ, грн	
			За одиницю, грн	Сума, грн
Сирена	Schneider XVS10BMW	1	4 200	4200
Реле проміжне	Weidmuller PS 35836971	5	570	2850
Щит	Schneider NSYS3D6640P	1	10070	10070

Усього - 185057 грн

Таблиця вартості монтажних матеріалів та кабельної продукції

DIN- рейка		4м	50	200
Проф.шина		1м	1400	1400
Короб монтажний		10м	11	110
Дріт монтажний	ПВЗ*05	100м	3.5	350
Кабель контрольний мідний	КВВГ4х185	15м	25	375
Кабель контрольний мідний	КВВГ4х1,0	15м	12	180
Дріт з'єднувальний	ПВСн 2*1	100м	12	1200
Дріт з'єднувальний	ПРТО 1*4	120м	15.5	1860
Труба стальна водогазопровідна	MP20x2,5	400м	15	6000

Усього - 11675 грн

$C_{\text{опт}} = 185057 + 11675 = 196732 \text{ грн.}$

Капітальні інвестиції являють собою вкладення коштів у придбання будинків, споруджень ін. об'єктів нерухомої власності, машин, устаткування, інших основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні інвестиції здійснюються в наступних основних формах: реконструкція, технічне переозброєння, модернізація виробництва, окремих поточкових ліній, одиниць устаткування, придбання окремих матеріальних активів.

Капітальні інвестиції по базовому й новому варіантах техніки визначаються роздільно. Капітальні інвестиції по базовому варіанті включають: витрати на придбання встаткування, у т.ч.:

Вартість устаткування за оптовими цінами Ц_{опт} ;

Витрати на тару й упакування – Ц_т;

Заготівельно-складські видатки – Ц_{з-з};

Витрати на монтаж устаткування – Ц_м;

У сумі ці витрати визначають первинну (балансову) вартість устаткування на підприємстві – ІС^б перв.

Балансову (первинну) вартість діючої техніки визначають на основі дані підприємства, де експлуатується базова техніка.

Первинна (балансова) вартість одиниці базової техніки при її придбанні може бути розрахована по формулі 9.1.

$$\text{ІСперв}^{\text{б}} = \text{Ц}_{\text{опт}}^{\text{б}} + \text{Ц}_{\text{опт}}^{\text{б}} * \text{Ц}_{\text{м}} + (\text{Ц}_{\text{опт}}^{\text{б}} * \text{Ц}_{\text{т}}) / 100 + (\text{Ц}_{\text{опт}}^{\text{б}} * \text{Ц}_{\text{тр}}) / 100 \\ + [\{ \text{Ц}_{\text{опт}}^{\text{б}} + (\text{Ц}_{\text{опт}}^{\text{б}} * \text{Ц}_{\text{т}}) / 100 + (\text{Ц}_{\text{опт}}^{\text{б}} * \text{Ц}_{\text{тр}}) / 100 \}] * \text{Ц}_{\text{з-з}} / 100 \quad (9.1)$$

де: ІСперв^б – первинна (балансова) вартість одиниці базової техніки, тис. грн.

Ц_{опт}^б – оптова ціна базової техніки, грн. (Ціна засобів автоматизації 513 509,35 грн.)

Нормативи наведені в таблиці 9.1

$$\text{ІСперв}^{\text{б}} = 196732 + 196732 * 0,1 + (196732 * 0,25) / 100 + (196732 * 0,25) / 100$$

$5,0)/100+[196732+ (196732* 0,25) / 100 + (196732 * 5,0) /100] * 0,012 =$
229206,34 грн.

При проведенні модернізації одиниці діючої техніки капітальні вкладення розраховують укрупнено за формулою:

$$IC_{\text{мод}} = IC^{\text{б}}_{\text{перв}} * N_{\text{мод}} \quad (9.2)$$

де: $N_{\text{мод}}$ – норматив витрат на модернізацію експлуатованого технологічного обладнання. Приймаємо в границях 5-20 % от $IC_{\text{перв}}$.

$$IC_{\text{мод}} = 229206,34 \text{ тис грн.} * 0,1 = 22920,634 \text{ грн.}$$

$$IC_{\text{мод}}^{\text{н}} = 229206,34 \text{ тис грн} * 1,1 = 252126,974. \text{ грн}$$

Таблиця 9.1

Нормативні дані для розрахунку капітальних вкладень.

<i>Показники</i>	Позначенн я	Од.вимір .	Велич ина
Укрупнений норматив витрат на модернізацію	$N_{\text{мод}}$	%	10-20
Коефіцієнт відрахувань на монтажні роботи	Цм	-	0,1
Норматив відрахувань на тару й упакування Цопті	Цт	%	0,25
Норматив відрахувань на транспортні видатки від Цопті	Цтр	%	5,0
Норматив відрахувань на заготови- тельно-складські видатки	Цз-З	%	1,2
Середня ціна 1т лома	Цл	Грн/т	200,0
Норматив витрат на демонтаж від Цопті		%	2
Нормативи розрахунку ліквідної вартості встаткування (від $IC_{\text{пер}}$)			
При списанні на лом	-	%	4
При використанні на запчастині	-	%	6
При продажі іншим організаціям	-	%	7

9.2. Розрахунок поточних витрат при роботі базового та нового зразка системи управління та контролю

До складу поточних витрат включаються витрати, що враховуються відповідно до прийнятої в галузі інструкцією калькуляції собівартості продукції (робіт, послуг).

Таблиця 9.2

Нормативні дані і показники.			
№ п/	Показники	Од. вим	Величин а
1	2	3	4
1	Річний фонд часу роботи обладнання	змін	60
2	Місячний фонд часу робітника	год	168
3	Тривалість роботи в зміні	год	8
4	Мінімальний розмір тарифної ставки робітника, який виконує не кваліфіковану роботу	грн	8000
5	Годинна тарифна ставка робітника прийнятої на підприємстві 1 2 3 4 5 6	грн/год	47,62 51,90 57,14 63,33 73,81 85,71
6	Вартість 1 Квт/год роботи обладнання.	грн/год	6,15
6	Вартість 1 м ³ води	грн./куб	15
7	Рентабельність виробництва виду продукції	%	15
8	Оптова ціна продукції	грн./пак	20
9	Оптова ціна сировини	грн./т	3
10	Податок на прибуток	%	19
11	Норматив річних амортизацій (прям. метод)	%	20
12	Податок на доходи фізичних осіб, військовий збір	%	18,0 + 1,5
13	Єдиний соціальний внесок (нарахування)	%	22,0

14	Норматив відрахувань на поточний і капітальний ремонт	%	10
----	---	---	----

Розрахунки виконуються з підрозділом витрат на наступні основні статті:

Сировина і матеріали;

Закупівельні комплектуючі вироби, напівфабрикати (роботи, послуги виробничого характеру сторонніх підприємств і організацій);

Паливо та енергія на технологічні цілі;

Основна та додаткова заробітна плата виробничих робітників;

Відрахування у єдиний соціальний внесок;

Витрати на утримання та експлуатацію устаткування;

Загальновиробничі витрати;

Виробнича собівартість продукції

Поточні витрати визначають за базовим і новому варіантам зберігання.

Розрахунок виконують тільки по змінюються статтями витрат тобто по тих, які змінюються при переходу від базового варіанту до нового.

Витрати на поточний і капітальний ремонт устаткування встановлені на рівні 10% від його сукупної балансової вартості на початок звітного періоду:

$$B_p = IC_{\text{перв}}^{н(б)} * N_p, \quad (9.3)$$

де: N_p – норматив витрат у ремонтний фонд, у відносних одиницях (0,1)

не змінюються в процесі запровадження результатів дослідження.

Витрати пов'язані з амортизацією устаткування розраховують по формулі:

$$B_a = IC_{\text{перв}}^{н(б)} * N_a. \quad (9.4)$$

де: N_a – норма річних амортизаційних відрахувань від первинної вартості устаткування за винятком зношування Для технологічного устаткування дорівнює 20%, у відносних одиницях 0,2. не змінюються в процесі запровадження результатів дослідження

Таблиця 9.3

Техніко-економічні показники обладнання

№ п/п	Показник	Познач	Од.вим.	Базова маш	Нова машина
1	Продуктивність	Пч	3000 л	3000 л	3000 л
2	Маса обладнання	М	кг	2500	2500
3	Габаритні розміри				
	довжина	Д	мм	4600	4600
	ширина	Ш	мм	2400	2400
	висота	В	мм	2900	2900
4	Мінімальна маса порції продукту	Vн	кг	40	47
5	Тривалість циклу	Чд	сек	144	144
6	Установленна потужність	Рэ	кВт	3,7	3,7
7	Витрати води	Qводи	М³	1.5	1.3
8	Опт. ціна обладнання	Цопт ^б	Тис.грн	196.7	Расчёт
9	Річний фонд робочого часу обладнання	Фг	Змін	60	60

Всі витрати, пов'язані з утримуванням базового і нового складу техніки, включаються в статті «Видатки на утримання й експлуатацію встаткування».

Після розрахунків статей, що змінюються, витрат при експлуатації (використанні) базової й нової техніки складається зведена таблиця зміни річних поточних витрат (табл. 9.5)

$$ОВ^{б(н)} = Поб * Фг * К загр, \quad (9.5)$$

Где: Поб – годинна продуктивність обладнання (з технічного паспорта обладнання)

Фг- річний фонд часу роботи обладнання, година

Кзагр – коефіцієнт завантаження обладнання, що приймається рівним 0,95.

$$OB^6 = 3000 \text{ л/год} * 8 * 60 * 0,95 = 1368000 \text{ л}$$

$$OB^H = 3000 \text{ л/год} * 8 * 60 * 0,95 = 1368000 \text{ л}$$

Виробнича собівартість продукції

Поточні витрати визначають за базовим і новому варіантам зберігання. Розрахунок виконують тільки по змінюються статтями витрат тобто по тих, які змінюються при переходу від базового варіанту до нового.

Витрати по статті «Сировина, основні та допоміжні матеріали» змінюються пропорційно зміні продуктивності обладнання.

При використанні нової техніки та збільшенню обсягів виробництва продукції вартість сировини і матеріалів розраховують за формулою:

$$Bc = Cc^{H(6)} * OB^{6(H)}, \quad (9,6)$$

$$Bc^6 = 1300 * 1368000 = 1\,778\,400\,000 \text{ .грн.}$$

$$Bc^H = 1300 * 1368000 = 1\,778\,400\,000 \text{ .грн.}$$

де : $Cc^{H(6)}$ – відповідно ціна сировини і матеріалів при експлуатації нової та базової техніки.

$OB^{6(H)}$ – обсяги виробництва продукції при використанні базової і модернізованої техніки в натуральному вимірі.

Витрати води:

$$Зв = Cв * Qв * Фг \quad (9,7)$$

$$Зв^6 = 15 * 8 * 0,2 * 60 = 1440 \text{ .грн}$$

$$Зв^H = 15 * 8 * 0,15 * 60 = 1080 \text{ .грн.}$$

Витрати на поточний і капітальний ремонт обладнання встановлені на рівні 10% від його балансової вартості на початок звітного періоду і обраховуються за формулою 14,8.

$$Зр = IC \text{ перв}^{H(6)} * Нр, \quad (9,8)$$

$$Зр^6 = 229206,34 * 0,1 = 22920,634 \text{ грн.}$$

$$Зр^H = 252126,974 * 0,1 = 25212,6974 \text{ грн.}$$

где: $Нр$ – норматив витрат в ремонтний фонд, у відносних одиницях (0,1)

Витрати пов'язані з амортизацією обладнання розраховуються за формулою :

$$З_а = IC_{\text{перв}}^{(6)} * Нр. \quad (9,9)$$

$$З_а^6 = 229206,34 * 0,24 = 55009,5216 \text{ грн.}$$

$$З_а^н = 252126,974 * 0,24 = 60510,47 \text{ грн.}$$

де: $Н_а$ – норма річних амортизаційних відрахувань від первинної вартості обладнання за вирахуванням зносу. Для технологічного обладнання $на$ рівна 24%, у відносних одиницях 0,24.

Витрати, пов'язані з утриманням базової і нової техніки, включаються в статті «Витрати на утримання і експлуатацію обладнання».

Після розрахунків змінних статей витрат при експлуатації базової і нової техніки складається таблиця зміни річних поточних витрат (табл. 9.4)

Таблиця 9.4

Зміна річних поточних витрат

№ п/п	Статті з витрат	Позн	Величина, тис грн		Відхилення + -збільше - зменшен
			До модер.	Після модер.	
1	Витрати на продукцію	Зс	1440	1080	-
2	Витрати на поточний капітальний ремонт	Зр	22920,634	25212,6974	+
3	Витрати пов'язані з амортизацією	За	55009,521	60510,47	+
	Всього поточних витрат	З	79370,155	86 803,167 4	-7433,01

9.3. Розрахунок показників виробничої діяльності підприємства

Розрахунок обсягу виробництва продукції здійснюємо за формулою:

$$OB^{(н)} = Поб * Фр * К_{завант} * К_{виходу}, \quad (9.10)$$

Де: $Поб$ – фактична годинна продуктивність обладнання

$Фр$ – річний фонд часу роботи обладнання, год

$К_{завант}$ – коефіцієнт завантаження обладнання, приймаємо рівним 0,9.

Квиходу – коефіцієнт виходу соку з плодів персика. 0,6.

Модернізація машини збільшила продуктивність 35 т/дома до 35 т/год

$$ОВ^б = 3000 \text{ л/год} * 8 * 60 * 0,95 = 15960 \text{ т}$$

$$ОВ^н = 3000 \text{ т/год} * 8 * 60 * 0,95 = 15960 \text{ т}$$

Вартісну оцінку результатів від експлуатації базової і модернізованої техніки, дохід від реалізації – розраховуємо за формулою:

$$ТП^{б(н)} = ОВ^{б(н)} * Ц_{пр} \quad (9.11)$$

де: $ОВ^{б(н)}$ – обсяги випуску продукції до (б) и опісля (н) модернізації обладнання, (в натуральних одиницях);

$Ц_{пр}$ – ціна одиниці продукції, виробленої базовою (модернізованою технікою), грн;

$$ТП^б = 1368000 * 25 = 34200000 \text{ грн.}$$

$$ТП^н = 1368000 * 25 = 34200000 \text{ грн.}$$

$$\Delta ТП = ТП^н - ТП^б = 34200000 - 34200000 = 0 \text{ грн}$$

Повна собівартість виробленої продукції $C^б$ до модернізації обладнання, тис. грн.

$$C^б = ТП^б * 100 / 100 + P \quad (9.12.)$$

де: P – рентабельність виробленої продукції (табл. 9,2.)

$$C^б = 34200000 * 100 / 100 = 34200000 \text{ грн.}$$

Повна собівартість виробленої продукції після модернізації техніки розраховуємо за формулою:

$$C^н = C^б - \Delta Z \quad (14,13)$$

$$C^н = 34200000 - 7433,01 = 34102566,99 \text{ . грн.}$$

де: ΔZ – зміна поточних витрат від модернізації обладнання, тис. грн.

(табл.9.4)

Прибуток за результатами діяльності підприємства з використанням базової і нової техніки складе, . грн.

$$\Pi^{б(н)} = \Pi^{б(н)} - C^{б(н)} \quad (9,14)$$

$$\Pi^б = 34200000 - 34200000 = 0 \text{ грн}$$

$$\Pi^н = 34200000 - 34102566,99 = 97433,01 \text{ грн.}$$

Приріст прибутку складе:

$$\Delta \Pi = \Pi^н - \Pi^б \quad (9,15)$$

$$\Delta \Pi = 97433,01 - 0 = 97433,01 \text{ грн.}$$

Розрахуємо приріст чистого прибутку (за вирахуванням податку на прибуток), тис. грн.

$$\Delta \text{ЧП} = \Delta \Pi (1 - \Pi_{\text{п}}) \quad (9,16)$$

$$\Delta \text{ЧП} = 97433,01 * 0,81 = 78920,74 \text{ грн}$$

Де: $\Pi_{\text{п}}$ – податок на прибуток (для виробничих підприємств на Україні рівняється 19%), у відносних одиницях – 0,19

Розраховані показники зводимо в табл. 9.5.

Показники виробничої діяльності підприємства.

№ п \ п	Показник	Позначення	Обладнання		Зміна статей витрат (+)-зростання. (-)зниження
			Базове	Модернізоване	
1	2	3	4	5	6
1	Дохід від реалізації, тис. грн.	ТП	34200000	34200000	0
2	Повна собівартість продукції тис. грн.	С	34200000	34102566,99	-
3	Прибуток, тис. грн.	П	0	97433,01	+
4	Чистий прибуток, тис. грн.	ЧП	0	78920,74	+
5	ЧПД при коефіцієнт дисконтування (20%)	Кд	0,8333	0,8333	0
6	Чистий приведений прибуток		0	78920,74	+

Таблиця 9.5

9.4 Висновок за розділом

Пропонована зміна модернізації системи автоматизації процесу приймання молока, із застосуванням теоретичних розробок дійсного дослідження є доцільна, тому що чистий приведений прибуток більше 0, а саме 78920,74 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Було зроблено опис та аналіз технологічного процесу приймання молока та необхідного обладнання. Була проведена ідентифікація лінії приймання молока як об'єкта керування. Були ідентифіковані канали керування та перехресні канали, в результаті чого було з'ясовано, що каналами «u1 - Тгп» та «u2 – Q3» об'єкт має статичні властивості і найбільш точно може бути описаний моделями другого порядку. Підвищення динамічної точності САР доцільно проводити шляхом забезпечення інваріантності каналу регулювання Q3 - Тгп. Алгоритми керування, а також характеристики, отримані при моделюванні роботи САК, достатньо точно співпадають з реальними технологічними процесами. Була розроблена технічна структура мікропроцесорного ядра системи керування та програмне забезпечення системи автоматичного керування процесом приймання молока на базі контролера Fastwel I/O і середовища CodeSys. було розроблено варіант фрагменту комплекту технічної документації САК на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-1500.

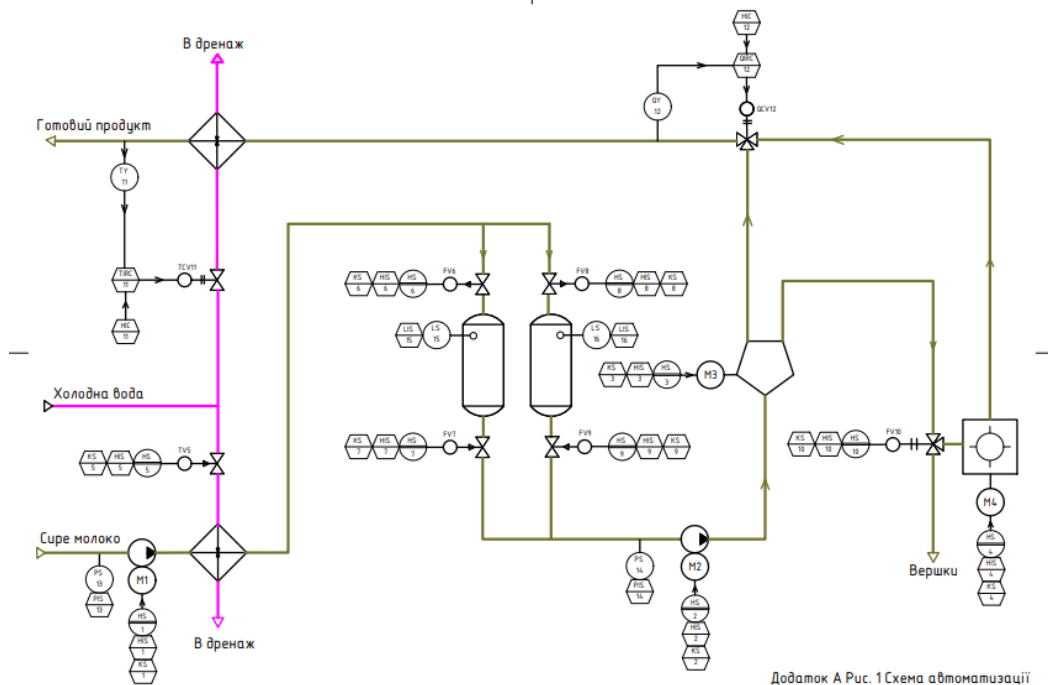
Був розроблений фрагмент комплекту, який включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування процесу приймання молока. В результаті виконання отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням МПК, ПК.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

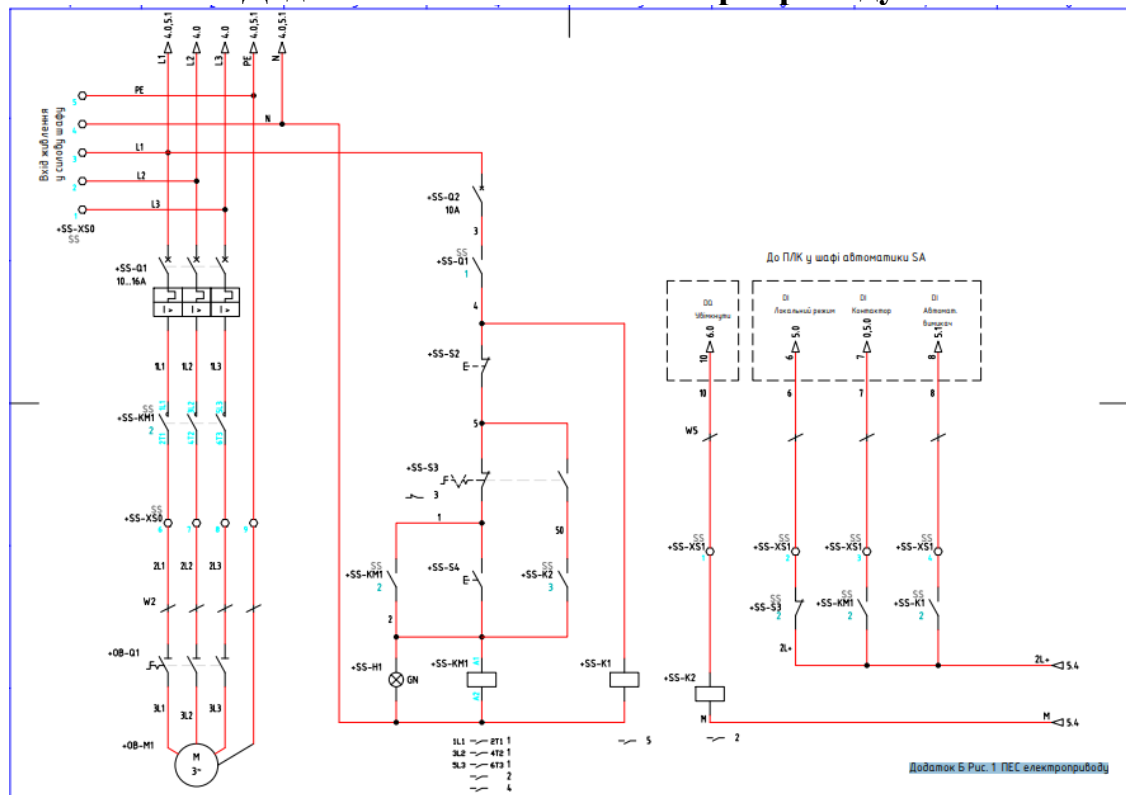
1. Методичні вказівки до виконання курсової роботи за курсом «Мікропроцесорні і програмні засоби автоматизації» для бакалаврів 6.050202 денної та заочної форми навчання / Укладачі: В.М.Левинський, А.І. Павлов, М.Т. Степанов - Одеса: ОНАХТ, 2011р. - 13.с
2. Каталог S7-300 «SIMATIC ST70». - Siemens AG, 2007. - 232 с.
3. Хобін В.А. Конспект курсу лекцій з дисципліни «Ідентифікація і моделювання технологічних об'єктів» для студентів спеціальності 7.092501 денної та заочної форм навчання. - Одеса: ОНАХТ, 2016р
4. Хобін В.А. Конспект курсу лекцій з дисципліни «Теорія автоматичного керування» для студентів спеціальності 7.092501 денної та заочної форм навчання. - Одеса: ОНАХТ, 2007 р. - 87 с.
5. Муратов В.Г. "Метрологія та основи вимірювання. Конспект лекцій". Частина 1,2,3. - Одеса: ОНАХТ, 2012р.
6. Методичні вказівки до виконання комплексного курсового проекту з дисципліни «Метрологія та технологічні вимірювання галузі»/ Укл. Муратов В.Г. - Одеса: ОНАХТ, 2012р.
7. Методичні вказівки до виконання КР з курсу "Проектування систем автоматизації" для студентів спеціальності 6.050202 денної та заочної форм навчання / Укл. Ю.М. Скаковський, В.І. Старичков. - Одеса: ОНАХТ, 2016. 35
8. Методичні вказівки щодо виконання та оформлення курсової роботи з дисципліни «Теорія автоматичного керування» для студентів спец. 2103 денної та заочної форм навчання / Укл. В.А. Хобін - Одеса: ОТПП, 1992 р. - 15 с.

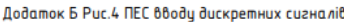
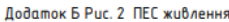
ДОДАТКИ

Додаток А Рис. 1 Схема автоматизації

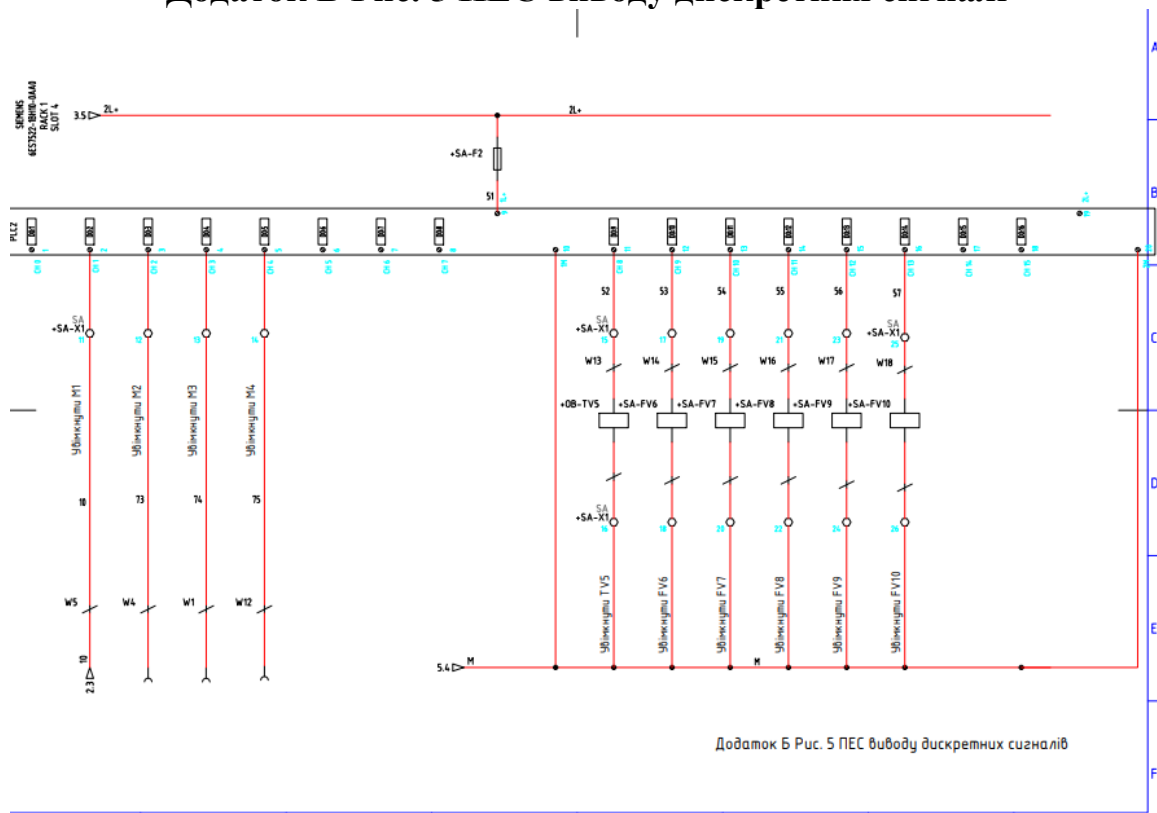


Додаток Б Рис. 1 ПЕС електроприводу

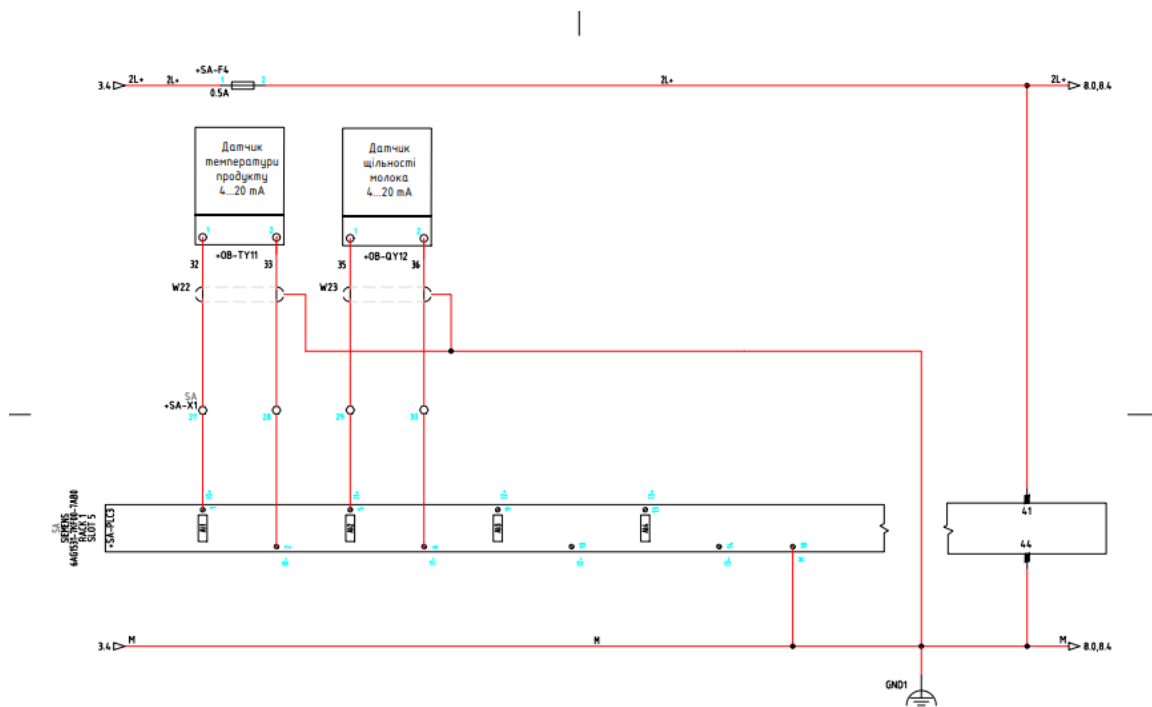




Додаток Б Рис. 5 ПЕС виводу дискретних сигналі

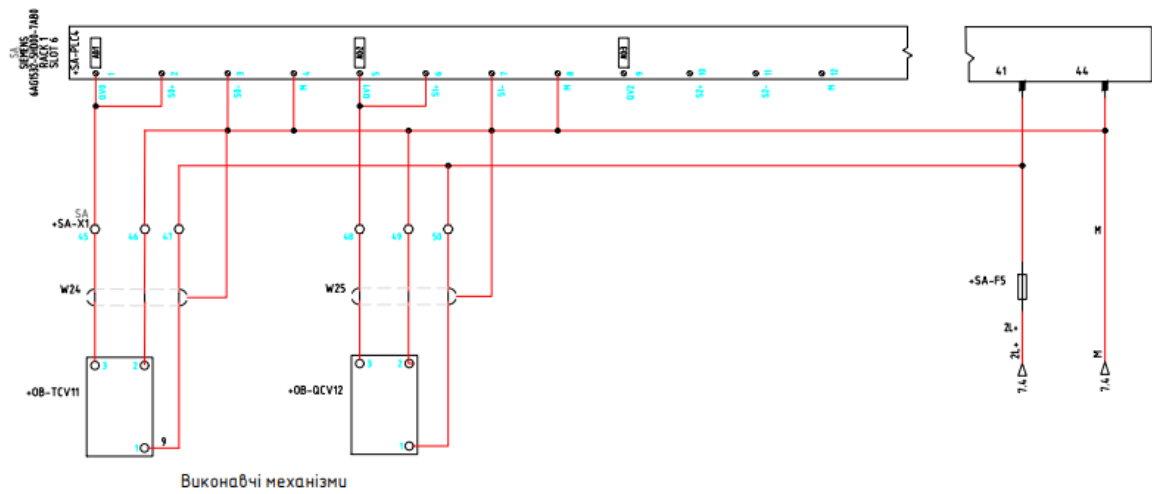


Додаток Б Рис. 6 ПЕС вводу аналогових сигналів



Додаток Б Рис. 6 ПЕС вводу аналогових сигналів

Додаток Б Рис. 7 ПЕС виводу аналогових сигналів



Додаток Б Рис. 7 ПЕС виводу аналогових сигналів