

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



**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**  
**на тему Автоматизація процесу керування копченням риби**  
(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача (ки) **О.В Овчаренко**  
(прізвище, ініціали)  
2 курсу Азт-20а групи

Керівник доцент **І.М Світий**  
(посада, прізвище та ініціали)

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

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р., протокол № \_\_\_\_

Завідувач(ка) кафедри АТПіРС \_\_\_\_\_  
(назва кафедри) (підпис) Підпис

**І.М. Світий**  
(ПБ)

Одеса – 2024 рік

## ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<u>Автоматизації та робототехніки</u> .
Кафедра	<u>Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем</u> .
Ступінь вищої освіти	<u>Бакалавр</u> .
Спеціальність	<u>151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології</u> .
Освітньо-професійна програма	<u>Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації</u> .

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. зав. кафедри АТПіРС  
В.М. Левінський

«23» листопада 2023 р.

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

**Здобувач Овчаренко Олег Віталійович**

1. Тема роботи «Автоматизація процесу керування копченням риби»
2. Керівник кваліфікаційної роботи Святий Іван Миколайович, к.т.н. доцент  
Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 603-03 від 19.10.23 р.
3. Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи «11» червня 2024 р.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт.
5. Зміст кваліфікаційної роботи (розділи, які потрібно розробити):  
Розділ 1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК  
Розділ 2. Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.  
Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР.  
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом.  
Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.  
Розділ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів 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	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділи 2, 3	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 4	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 5	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 6	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 7	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 9	Савенко І.І., проф. кафедри МіЛ		

7. Дата видачі завдання 04 грудня 2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер розділу	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Розділ 1	«04» березня 2024 р.	
Розділ 2	«18» березня 2024 р.	
Розділ 3	«01» квітня 2024 р.	
Розділ 4	«15» квітня 2024 р.	
Розділ 5	«29» квітня 2024 р.	
Розділ 6	«13» травня 2024 р.	
Розділ 7	«27» травня 2024 р.	
Розділ 8	«03» червня 2024 р.	
Розділ 9	«10» червня 2024 р.	

Здобувач Овчаренко О.В.

Керівник роботи Світий І.М.

*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 Овчаренко О.В. \_\_\_\_\_  
 Прізвище, ініціали Підпис

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра Овчаренка Олега Віталійовича «Автоматизація процесу керування *копченням риби*» викладена на 148 сторінках, кількість розділів – 9, кількість таблиць – 19, рисунків – 102, додатків – 4, джерел з переліку посилань – 14.

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

*Об'єкт розробки* – система автоматичного керування процесом *копченням риби*.

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

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

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

## Зміст

Перелік умовних позначок .....	9
Вступ .....	10
1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації сак.....	12
1.1 Загальний аналіз технологічного процесу, реалізованого агрегатом, цілей і умов його ведення. ....	12
1.2 Конкретизація регламентів і умов ведення процесу, його формалізоване представлення.....	16
1.3. Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки ТП та технічних засобів, що використовуються для цього. ....	19
1.4 Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК. ....	20
1.5 Висновки за розділом.....	21
2. Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.....	23
2.1. Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання .....	23
2.2 Ідентифікація моделей каналів перетворення координатних дій об'єкту керування.....	24
2.3 Ідентифікація лінеаризованих моделей динаміки каналів управління об'єкта регулювання в околиці його робочих режимів .....	24
2.4 Ідентифікація лінеаризованих моделей динаміки каналів контрольованих координатних збурень об'єкту регулювання.....	28
2.5 Ідентифікація моделей статички каналів управління об'єкту регулювання з істотно нелінійними властивостями .....	31
2.6 Реалізація моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним.....	34

2.7 Розробка структурних схем моделювання статички каналів, отримання статичних характеристик моделей і їх порівняння з експериментальними статичними характеристиками. ....	36
2.8 Реалізація в середовищі імітаційного моделювання повної моделі об'єкту управління та підтвердження її адекватності.....	38
2.9 Висновки за розділом.....	40
3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР.....	41
3.1 Формулювання задач керування технологічним агрегатом.....	41
3.2 Формалізація інтегральних вимог до перехідних та динамічно сталих процесів регулювання у формі інтегральних критеріїв оптимальності САР.....	42
3.3 Синтез і аналіз системи автоматичного регулювання базової структури .....	44
3.4 Параметричний синтез САР з різними варіантами типових алгоритмів регулювання і їх порівняльний аналіз для детермінованих вхідних дій.....	47
3.5 Аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОК .....	53
3.6 Синтез та аналіз САР підвищеної динамічної точності .....	55
3.7 Спрощення коригувальних зв'язків з урахуванням особливостей їх технічної реалізації та параметричного синтезу САР при детермінованих вхідних ефектах.....	58
3.8 Аналіз грубості САР підвищеної динамічної точності до варіацій параметрів об'єкта регулювання.....	62
3.9 Порівняльний аналіз перехідних процесів у параметрично оптимальних САР за величинами критеріїв та показників, на які встановлені гранично-допустимі значення. ....	65
3.10 Висновки за розділом:.....	67
4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним процесом копчення риби .....	68
4.1 Конкретизація задачі логічного керування технологічним процесом копчення риби. ....	68
4.2 Висновки за розділом.....	78

5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів .....	79
5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення. ....	79
5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	83
5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу .....	85
5.4. Вибір технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі.....	87
6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК.....	95
6.1 Програмне конфігурування контролера.....	95
6.2 Розробка програмного забезпечення.....	97
6.3 Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК .....	102
7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.....	106
7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування .....	106
7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога. ....	108
7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.....	108
7.4 Тестування системи керування.....	117
8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці .....	120
8.1 Характеристики технологічного об'єкта керування та опис основних технічних рішень.....	120
8.2 Розробка схеми автоматизації .....	121

8.3 Розробка принципової електричної схеми контролю та керування електроприводом.....	123
8.4 Розробка принципової електричної схеми живлення контролера та панелі оператора.....	125
8.5 Розробка принципових електричних схем підключення до модулів ПЛК .....	125
8.6 Охорона праці.....	126
9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності реалізації роботи .	136
9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації .....	136
9.2 Розрахунок змін основних показників діяльності підприємства, джерел інвестування й інвестиційної привабливості.....	139
9.3 Висновок за розділом .....	140
Загальні висновки.....	141
Список використаної літератури .....	143
Додаток А Документація до схеми автоматизації.....	145
Додаток Б Документація до принципової електричної схеми контролю та керування електроприводом.....	146
Додаток В Документація до принципової електричної схеми живлення .....	147
Додаток Г Документація до принципової електричної схеми.....	148

### **Перелік умовних позначок**

КП – керуючий пристрій;

ОК – об'єкт керування;

ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор;

ПІД-регулятор – пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор;

САК – система автоматичного керування;

САР – система автоматичного регулювання.

## Вступ

Актуальність дослідження. Риба є однією з найцінніших груп харчових продуктів. Вона є відмінним джерелом високоякісного білка, який є необхідним для будівництва і ремонту тканин в організмі. Багато видів риби, таких як лосось, сардина, тунець та тріска, містять омега-3 жирні кислоти, вітамінами та мінералами, такими як вітамін D, вітамін B12, йод, селен, залізо і цинк, які сприяють здоров'ю серця, мозку і сприяють запобіганню запальних захворювань. Регулярне споживання риби пов'язують зі зниженням ризику серцево-судинних захворювань, депресії, деяких видів раку та інших хвороб.

Способи приготування риби можуть суттєво впливати на її харчову цінність, смак і користь для здоров'я. Високий вміст води спричиняє особливо швидке псування риби, тому для забезпечення довготривалого зберігання риби і підвищення її смакових властивостей застосовують різні методи копчення.

Процес копчення – це поєднання дії фізичних і хімічних факторів, які використовують для консервації риби, що піддаються хімічному впливу речовин, які містяться у димі. Унаслідок копчення частково зневоднюють продукт (відбувається підсушування продукту) й просочування його димом.

Залежно від температури розрізняють копчення холодне, гарячіше і напівгаряче. Залежно від способу застосування продуктів неповного згорання деревини копчення риби підрозділяють на димове, бездимне і змішане. Спосіб гарячого копчення має багато переваг. Він швидкий, надійний, простий; риба відразу готова до вживання. А риба гарячого копчення – це смачний, живильний, готовий до вживання продукт із специфічним ароматом, смаком і кольором.

Основним устаткуванням цехів гарячого копчення риби є коптильні печі і камери різних систем періодичної і безупинної дії. На даний час рівень автоматизації багатьох коптильних камер не дозволяє вирішення поставлених

технологічних задач. Велика кількість обладнання потребує заміни або капітального ремонту. Відсутність системи обліку не дозволяє точно контролювати обсяг готової продукції сировини і напівфабрикатів. Багато процесів проводяться із застосуванням ручної праці, яке безумовно знижує якість продукції. Тому поряд із заміною обладнання, доцільно здійснити заміну старої системи автоматизації на нову з застосуванням сучасної мікропроцесорної техніки.

Штатні одноконтурні САР температури коптильної печі використовують пропорційні регулятори типу РТ-П. Підвищення динамічної точності САР дозволить понизити брак та покращити зовнішній вигляд копченої риби.

Об'єкт дослідження – коптильна піч цеху гарячого копчення риби.

Предмет дослідження – цифрова система автоматичного регулювання підвищеної динамічної точності температури коптильної печі.

Мета дослідження – розробка цифрової САР підвищеної динамічної точності, що інтегрована до АРМ оператора-технолога, яка повинна забезпечити роботу ОУ в енергозберігаючому режимі.

# **1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації сак.**

## **1.1 Загальний аналіз технологічного процесу, реалізованого агрегатом, цілей і умов його ведення.**

Технологія приготування риби гарячого копчення передбачає підготовку сировини (розморожування, якщо використовують рибу морожену), сортування, потрошіння (якщо передбачено технологією, в залежності від виду риби). Попередньо готують концентрований сольовий розчин для якого у 600 г води розчиняють 150 г солі кухонної харчової і 30 г цукру-піску і охолоджують до температури 2-4 °С.

Підготовлену рибу укладають в тару рядками, заливають підготовленим сольовим розчином, підпресовують і залишають при температурі 2-6 °С на 24-48 год.

Після посолу рибу ополіскують для видалення з її поверхні тузлука і забруднень. Потім рибу прошивають чи об'язують і в шахматному порядку на рейках навішують на рами, які по монорельсу чи візку загрузають в коптильні камери.

Копчення риби проходить у три стадії: підсушування, пропікання і копчення. Підсушують рибу при відкритих димоходах і піддувайлах при температурі 65-80° С на протязі (15-30)×60с. Пропікають рибу при температурі 110-140° С протягом (15-45)×60 с. Копчення проводять при температурі 100-120° С і інтенсивній подачі диму протягом (30-90)×60 с.

Після закінчення копчення рибу потрібно швидко охолодити. Спочатку навколишнім повітрям до досягнення температури 30-35° С, а потім до 8-12°С в холодильній камері. Визначення якості риби гарячого копчення за органолептичними показниками.

Коптильна піч безперервної дії має камери підсушування, копчення та охолодження, через які за допомогою замкнутого тягового ланцюга з електричним приводом М1 переміщуються листи з рибою.

Риба після завантаження в листи надходить до камери підсушування, де при температурі від 40 до 80 °С підсушується, потім переходить у камеру копчення, у якій при температурі від 90 до 110 °С проварюється і коптиться.

У камері охолодження риба охолоджується повітрям з виробничого приміщення. Після охолодження готовий продукт виходить з печі, де його укладають у тару.

Технологічний процес гарячого копчення риби характеризується значним споживанням електроенергії, води і повітря. Крім оплати цих ресурсів по тарифам, які щороку зростають, рибообробні підприємства повинні здійснювати очистку відпрацьованих води і повітря, що також збільшує фінансові витрати. В сучасних економічних умовах підприємства повинні постійно підвищувати свою енергоефективність. Одним із способів такого підвищення є об'єднання управління розрізненими автономними компонентами лінії гарячого копчення риби в єдину систему автоматичного керування з метою стабілізації якості продукції і зменшення споживання електроенергії, води і повітря. Для вирішення цієї задачі необхідно розробити рішення, яке реалізує алгоритм обробки поточної вимірювальної інформації з метою формування керуючих впливів із залученням результатів математичної теорії управління. Таке застосування ґрунтується на аналізі функціональної схеми автоматизації і адекватній математичній моделі лінії гарячого копчення риби.

Коптильна піч безперервної дії (рис. 1.1) являє собою спеціальний пристрій, призначений для копчення продуктів, таких як м'ясо, риба, сир, тофу та інші продукти харчування. Її робочий принцип полягає в тому, що дим і тепло створюються в ній постійно, що дозволяє вам здійснювати процес

копчення продуктів безперервно протягом тривалого періоду часу. Коптильна піч має три камери:

- камера підсушки: призначена для видалення надлишкової вологи з продуктів перед початком коптіння. Підсушка допомагає зменшити час коптіння та підвищити якість копчених продуктів.

- камера коптіння, де відбувається сам процес коптіння. В цій камері генерується дим, який проникає в продукти і надає їм характерний смак і аромат. Тут також контролюють температуру і інтенсивність диму.

- камера охолодження, після завершення процесу коптіння продукти потребують охолодження для зниження їхньої температури та зупинки процесу коптіння, це важливо для збереження безпеки та якості продуктів.

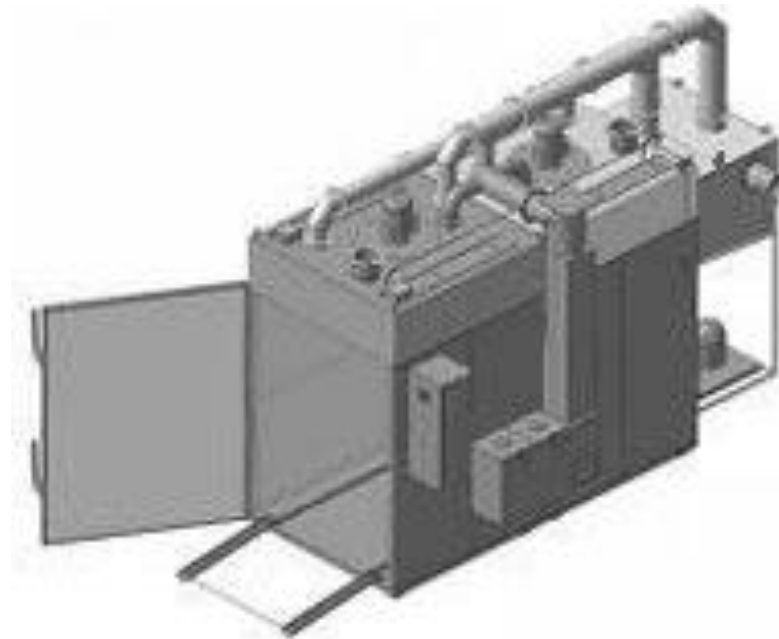


Рис.1.1 – Конструкція коптильної печі безперервної дії

Мета ведення процесу гарячого коптіння риби – отримання готового продукту із заданими показниками якості. При промисловому виробництві досягнення мети може бути виправдано тільки тоді, коли технологічний процес має сенс реалізувати, коли виконується цілий ряд вимог до технологічного процесу.

- Технологічний процес гарячого коптіння доцільно реалізувати, якщо:
- температура в коптильній камері не нижче  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
  - час коптіння –  $180\text{ с}$ ;
  - тиск пари в камерах коптильної печі, не вище  $0,8\text{ МПа}$ .

Технологічний процес гарячого коптіння риби є тепловим процесом, пов'язаним з передачею тепла шляхом його конденсації в камері коптіння безперервної дії. Важливою умовою нормального функціонування технологічного процесу є підтримування необхідної температури в камері коптіння.

Параметризована технологічна схема процесу гарячого коптіння риби наведена на рис. 1.2.

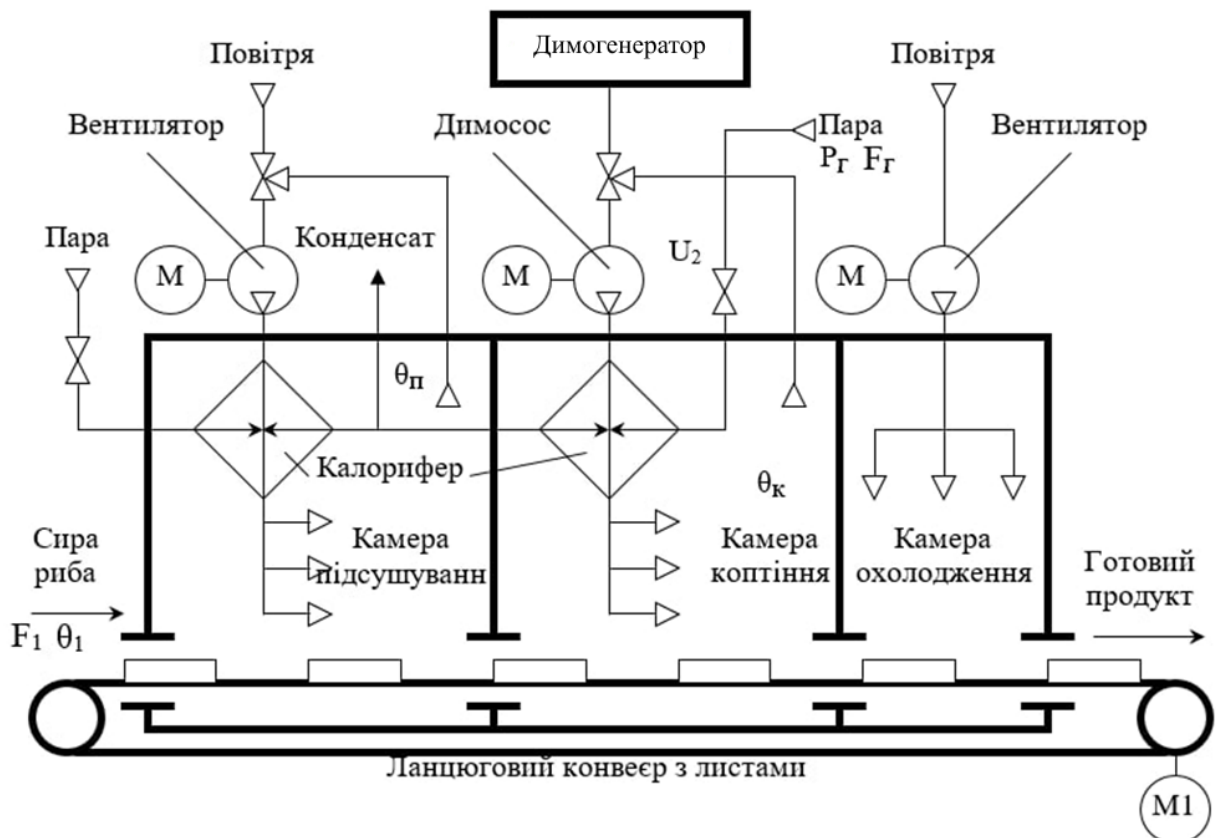


Рис. 1.2 – Параметризована технологічна схема

## 1.2 Конкретизація регламентів і умов ведення процесу, його формалізоване представлення

Основу нормативів складають три основних регламенти.

Технологічний регламент – визначає умови, при яких у результаті технологічного процесу буде отримано продукт із заданими властивостями. Для технологічного процесу гарячого коптіння риби таким параметром є температура у коптильній камері  $\theta_k$ .

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Для коптильної печі безперервної дії таким параметром є тиск пари  $P_{\text{п}}$ .

Техніко-економічний і екологічний регламент визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. До цієї групи параметрів можна віднести температури в камері коптіння  $\theta_k$ .

Параметри технологічного процесу не повинні відхилятися від регламентних значень. Але навіть при досить ефективному керуванні процесом, вони можуть перевищувати встановлені допуски.

Відхилення температури копчення риби нижче гранично припустимих значень може призвести до недокопчення продукту, тобто що вода в рибі не випаровується належним чином, і продукт залишається занадто вологим. Це може призвести до таких наслідків, як неприємна текстура, брудна смакова палітра та небажаний вигляд. Додатково, недокопчена риба може стати більш схильною до забруднення та псування, оскільки волога сприяє розвитку бактерій та мікроорганізмів.

При перевищенні температури верхнього гранично припустимого значення може призвести до перегріву або перекопчення риби. Це може призвести до деяких негативних наслідків, таких як втрата вологи, зміна текстури і смакових якостей, аромату, що знижує привабливість продукту для

споживача. Перегріта риба може стати менш безпечною для споживання через можливість розвитку бактерій і мікроорганізмів через зменшення вологості.

В 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 розділяти і задавати у вигляді допусків на тривалі та короточасні відхилення. Аналіз нормативів ведення технологічного процесу та експлуатації обладнання оформимо у вигляді таблиці регламентів 1.1.

Таблиця 1.1 – Регламентні зони

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Номінальні значення	Допустимими відхилення від номінала		
					Довготривалі		Короточасні
					Величина	Величина	Час
1	температура в копильній камері	$\theta_k$	°C	100	$\pm 2$	$\pm 7$	100 с

Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від номінальних (і можуть виходити за межі допусків) внаслідок зміни умов, у яких ведеться процес. Ці умови також характеризуються певними параметрами і можуть бути (для зручності) згруповані за деякими ознаками.

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. До цієї групи параметрів віднесемо параметри сирової риби ( $\theta_1, F_1$ ).

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного встаткування ззовні й витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи параметрів віднесемо тиск пари для нагрівання  $P_T$ .

Механічні (або інші специфічні) параметри технологічного обладнання характеризують стан її робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо зміну температури в камері копіння ( $\theta_k$ ), а також положення регулюючого органу, що дроселює потік пари на паропроводі до камери копіння ( $U_1$ ).

Схема технічного проектування (ТП), що містить параметри, відзначається своєю інформативністю. Для узгодження взаємозв'язків між цими параметрами в ТП використовується формалізована параметрична схема. При цьому важливі параметри, які відображають цільовий спрямований характер роботи модельованого об'єкта та додаткові вимоги до нього, стають вихідними, тоді як параметри, які відображають умови роботи об'єкта, стають вхідними.

Між вхідними та вихідними параметрами існує причинно-наслідковий зв'язок, але в рамках цієї схеми цей зв'язок описується тільки на якісному рівні. У подальшому можна буде знехтувати деякими зв'язками та представляти інші зв'язки як опосередковані.

Параметрична схема процесу гарячого копчення риби наведена на рис.

1.3

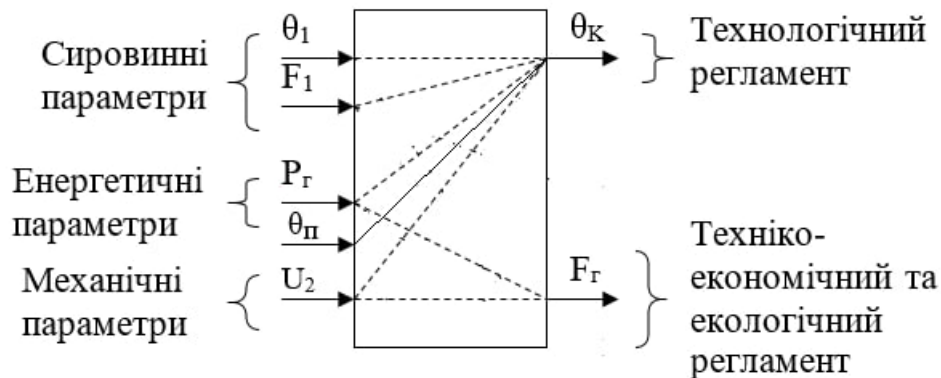


Рис. 1.3 – Параметрична схема процесу

Проведемо параметризацію технологічної схеми:

$\theta_1$  – температура сировини,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\theta_K$  – температура у коптильній камері,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\theta_{\Pi}$  – температура в камері підсушки  $^{\circ}\text{C}$ ;

$P_r$  – тиск пари, що гріє, МПа;

$U_1$  – регулюючий вплив – зміна положення регулюючого органу камери коптіння, % х.р.о.;

$F_1$ – витрати сировини

### **1.3. Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки ТП та технічних засобів, що використовуються для цього.**

Можна визначити поточний рівень автоматизації в розділі ТП та застосовані технічні методи. У традиційній автоматизованій установці для зони копчення риби ПІД-контролери використовуються для автоматичного регулювання температури та вологості. Термопари та гігрометри використовуються для збору даних про температуру та вологість у коптильній камері. Потім ця інформація передається оператору, який може переглядати та записувати її за допомогою автоматичного регулятора. Електричні приводи відповідають за виконання керуючих дій, яким сприяє ПІД-регулятор, який забезпечує автоматичне налаштування.

Система автоматизації дозволяє дистанційно керувати виконавчими механізмами та силовими приводами майданчика. Логічне управління процесом включає в себе активацію сайту, його зупинку під час технологічних перебоїв і вирішення будь-яких нештатних ситуацій. Хоча послідовність дій продиктована технологічною інструкцією, виконуються вони дистанційно.

У контексті вивчення метрології, технологічних вимірювань та приладів була запропонована вимірювальна та інформаційна система, яка використовує програмований логічний контролер (PLC). Ця система спрямована на регулювання температури в коптильній камері шляхом керування розподілом диму та тепла. Крім того, він контролює рівень температури та вологості на виході з камери, щоб переконатися, що вони

відповідають зазначеним нормам. У випадках, коли параметри відхиляються від потрібних значень, в процес копчення вносяться корективи. Система управління ефективно керує різними факторами, такими як температура, вологість, рівень диму, тиск і споживання диму на опалення в зоні входу. Для цього використовується технологія автоматизації, яка плавно інтегрується в керовану комп'ютером мережу. Виконавчим механізмом, відповідальним за подачу диму, можна дистанційно керувати через призначений блок керування, що дозволяє створити мережу контролерів на основі технології ПЛК. Важливо зазначити, що курсова робота не передбачала розробки алгоритмів керування. Проте архітектура системи допускає потенційну реалізацію функцій автоматичного регулювання та логічного керування.

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

Точне підтримання температури і вологості в коптильні забезпечує постійну якість готового продукту при зниженні надлишку тепла і диму. Стабільність цих параметрів має вирішальне значення для продукту, оскільки дуже важливо зберегти смак і зовнішній вигляд. Отже, під час функціонування системи управління процесом фумігації основним джерелом підвищення ефективності процесу є зниження втрат, викликаних недостатньою готовою продукцією, що безпосередньо пов'язано з підвищенням продуктивності виробничої лінії.

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

Таблиця 1.3 Перелік вирішуваних завдань та їх вплив на показники економічної ефективності

Статті витрат	Очікуваний джерело економії	Кількісна оцінка
Втрати від браку готової продукції	Підвищення точності підтримання температури вина на виході теплообмінника	Продуктивність лінії розливу до автоматизації – 200 кг/год після автоматизації – 230 кг/год

Економічною метою роботи є підвищення конкурентоспроможності основних показників господарської діяльності підприємства шляхом впровадження сучасної системи менеджменту та вжиття заходів щодо підвищення якості готової продукції.

Система управління процесом копчення риби заснована на технології ПК і ПЛК. Система повинна реалізовувати такі функції:

- а) Інформація: своєчасне відображення інформації;
- б) Управління: Стабільність технологічного процесу;

### 1.5 Висновки за розділом

Процес копчення риби в коптильні є одним з ключових на лінії виробництва готової продукції. Підвищення ефективності цього процесу може мати значні економічні наслідки. Тому об'єктом модернізації системи контролю було обрано копчену рибу. Аналізуючи господарську діяльність підприємства та хід технологічного процесу, можна зробити висновок, що

саме в цій частині технічного рішення можна суттєво змінити техніко-економічні показники всього виробництва, наприклад знизити кількість втрат, викликаних браком готової продукції.

## 2. Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.

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

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.

Для процесу гарячого копчення риби в якості регульованої координати доцільно обрати температуру копчення  $\theta_k$ . До управляючих дій доцільно віднести положення регульовального органу, що дроселює потік пари на теплообмінник ( $u$ ).

Після того, як визначені управляючі дії, всі інші входні змінні відносять у розряд збурень, тобто таких дій середовища, зміна яких порушує хід технологічного процесу і режими роботи технологічного агрегату. Для процесу гарячого копчення до контрольованих збурень доцільно віднести температуру в камері підсушки  $\theta_p$ . Всі інші входні дії, крім управляючої дії і контрольованого збурення  $f$ , віднесемо до неконтрольованих збурень.

Структурна схема ОК є черговим і останнім етапом формалізації подання технологічного процесу як ОК. Структурна схема процесу гарячого копчення риби наведена на рис. 2.1.

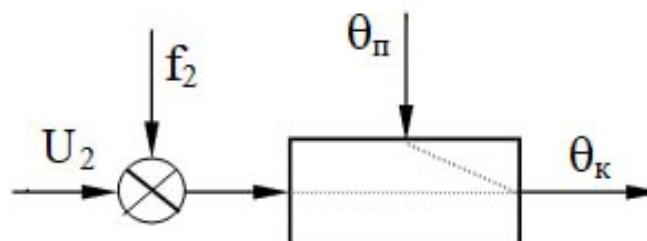


Рис. 2.1 – Структурна схема печі безперервного копчення риби як об'єкту керування

## **2.2 Ідентифікація моделей каналів перетворення координатних дій об'єкту керування**

Перед початком проведення експериментів слід здійснити попередню оцінку властивостей каналів, які підлягають ідентифікації, на основі попередніх даних та розуміння фізичних особливостей об'єкта. У випадку технологічного процесу гарячого коптіння риби, як для каналу управління, так і для каналу контрольованого збурення, властивість самовирівнювання присутня через тепловий характер процесу. Збільшення впливу управління або тиску пари в камерах контрольованого збурення призведе до підвищення температури процесів сушіння і коптіння, які регулюються.

Враховуючи фізичну природу теплових процесів, які відбуваються в об'єкті контролю, відомо, що ці процеси в значній мірі можуть бути математично описані нелінійними диференціальними рівняннями. Однак, варто зазначити, що номінальний режим функціонування об'єкта контролю пов'язаний з обмеженим діапазоном зміни температури дідсушки і коптіння в якості регульованої змінної. У цьому обмеженому діапазоні процеси можуть бути лінійно апроксимовані лінійними диференціальними рівняннями, що дозволяє використовувати лінеаризовану модель для об'єкта контролю.

## **2.3 Ідентифікація лінеаризованих моделей динаміки каналів управління об'єкта регулювання в околиці його робочих режимів**

План активного експерименту:

1) За допомогою зміни управляючої дії домагаємося значення регульованої координати, що перебувало б в околиці її номінального значення. Для нашого об'єкта керування значенню  $u = 50\%$  х.р.о. буде відповідати значення регульованої координати  $83^{\circ}\text{C}$ .

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

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

4) Реєструємо зміну вихідної змінної до настання нового сталого режиму, вхідну дію у такому разі можна не реєструвати.

Результати активного експерименту наведені на рис. 2.2.

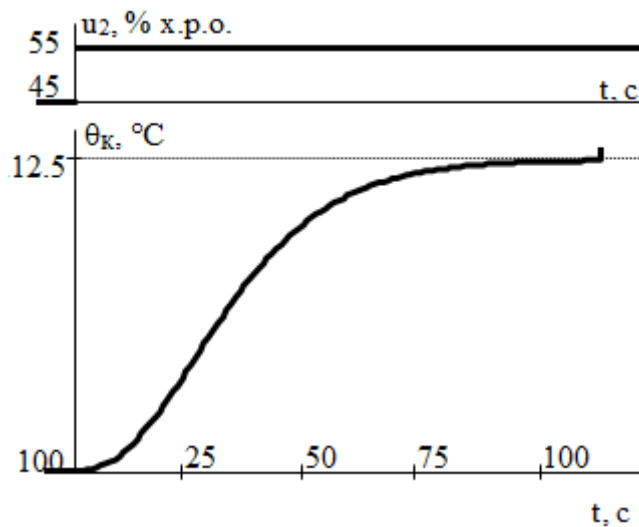


Рис. 2.2 – Результати активного експерименту

За результатами активного експерименту (рис. 2.2) можна зробити висновок, що канал управління нашого об'єкту керування має властивість самовирівнювання, а значить його модель може бути описана передаточними функціями:

– першого порядку:

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

– другого порядку:

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

Для параметричної ідентифікації моделей ОК зі статичними властивостями необхідно знайти коефіцієнт передачі ОК ( $K_0$ ), сталу часу ( $T_0$ ) і час запізнення ( $\tau_0$ ).

Коефіцієнт передачі об'єкта керування визначають за формулою:

$$K_0 = \frac{\Delta\theta_k}{\Delta U} = \frac{112,5 - 100}{55 - 45} = 1,25^\circ\text{C}/\% \text{х. р. о.}$$

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».

Для моделі 1-го порядку:

$$\Theta_{k 1,0} = 112,5 - 100 = 12,5 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Theta_{k 0,33} = 0,33 \cdot 12,5 + 100 = 104,13 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Theta_{k 0,7} = 0,7 \cdot 12,5 + 100 = 108,75 \text{ }^\circ\text{C};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.3), знаходимо  $t_{0,33}$  і  $t_{0,7}$ .

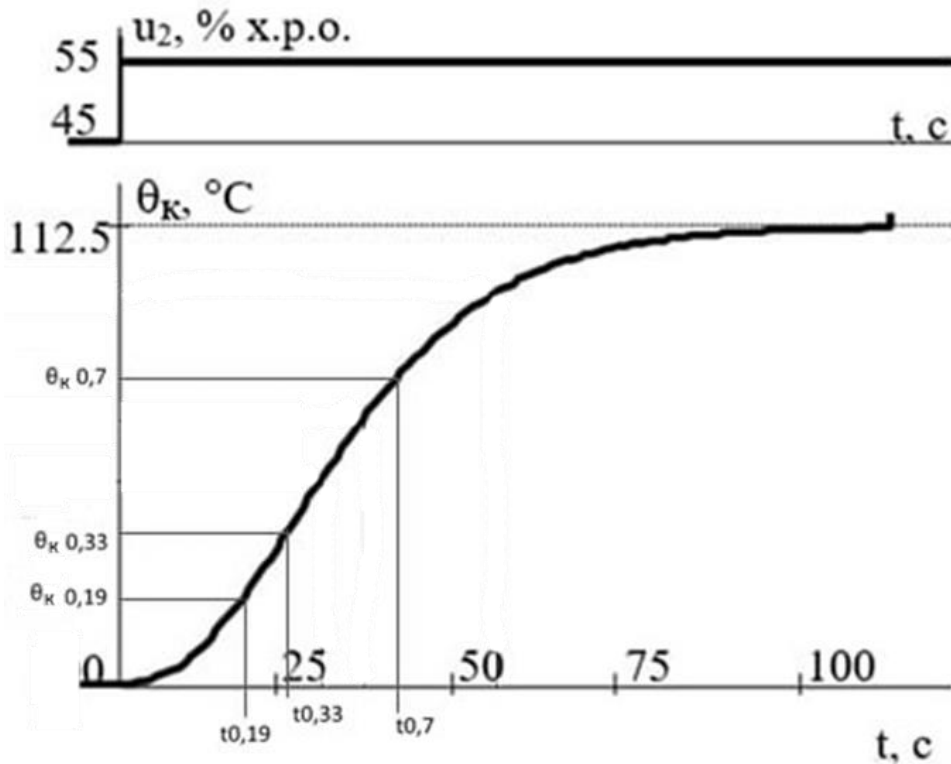


Рисунок 2.3 – Параметрична ідентифікація моделі ОК

$$t_{0,33} = 26 \text{ с}; t_{0,7} = 40 \text{ с}; t_{0,19} = 22 \text{ с}$$

Тоді

$$t_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 26 - 40) = 19 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - t_0) / 1,2 = (40 - 19) / 1,2 = 17,5 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_o(p) = \frac{1,25 \cdot e^{-19p}}{17,5p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку:

$$\theta_{2,0,19} = 0,19 \cdot 12,5 + 100 = 102,4^{\circ}\text{C};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.3), знаходимо  $t_{0,19}$ .

$$t_{0,19} = 29 \text{ с.}$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 22 - 40) = 13 \text{ c}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - t_0)/2,4 = (40 - 13)/2,4 = 11,25 \text{ c}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_o(p) = \frac{1,25 \cdot e^{-13p}}{(11,25p + 1)^2}$$

## **2.4 Ідентифікація лінеаризованих моделей динаміки каналів контрольованих координатних збурень об'єкту регулювання**

Якщо вхідні змінні ОК недоступні для цілеспрямованої зміни, то для отримання моделі ОК за такими каналами застосовні статистичні методи ідентифікації. Інформація для реалізації цих методів збирається в ході пасивного експерименту, коли на досить тривалих інтервалах часу синхронно фіксуються в часі важливі зміни вхідних і вихідних змінних каналів ОК. Статистична непараметрична ідентифікація (тобто ідентифікація, коли вид моделей априорі не заданий), залежно від використовуваного математичного апарату, може проводитися в часовій або в частотній областях. Вихідні дані для ідентифікації за своєю природою є записом реалізацій вхідних і вихідних координат ОК, отриманих в результаті експерименту. У часовій області ідентифікується імпульсна перехідна (вагова) функція (ІПФ), а в частотній – АЧХ і ФЧХ. Найбільш розроблені методи ідентифікації застосовні для лінійних стаціонарних ОК. У цьому випадку вхідні і вихідні змінні каналів приймаються стаціонарними та стаціонарно пов'язаними.

Припустимо, що нам вдалося провести активний експеримент через канал контрольованого збурення, то за результатами цього експерименту можна виконати ідентифікацію моделі об'єкта контролю.

Результати активного експерименту за каналом контрольованого збурення наведено на рис. 2.4.

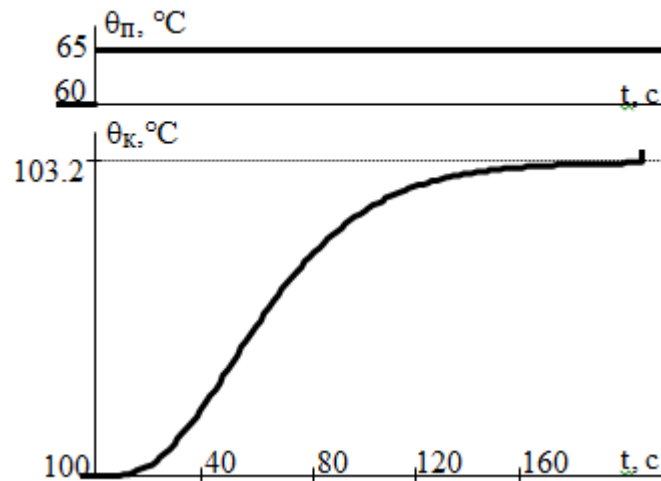


Рис. 2.4 – Результати активного експерименту за каналом контрольованого збурення

За результатами активного експерименту (рис. 2.4) можна зробити висновок, що канал контрольованого збурення нашого ОК має властивість самовирівнювання, а значить його модель може бути описана передаточними функціями:

– першого порядку:

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

– другого порядку:

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

Для параметричної ідентифікації моделей ОК зі статичними властивостями необхідно знайти коефіцієнт передачі ОК ( $K_0$ ), сталу часу ( $T_0$ ) і час запізнення ( $\tau_0$ ).

Коефіцієнт передачі об'єкта керування визначають за формулою:

$$K_0 = \frac{\Delta\theta_k}{\Delta\theta_n} = \frac{103,2 - 100}{65 - 60} = 0,64.$$

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».

Для моделі 1-го порядку:

$$\theta_k = 103,2 - 100 = 3,2 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\theta_{k,0,33} = 0,33 \cdot 3,2 + 100 = 101,1 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\theta_{k,0,7} = 0,7 \cdot 3,2 + 100 = 102,24 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.5), знаходимо  $t_{0,33}$  і  $t_{0,7}$ .

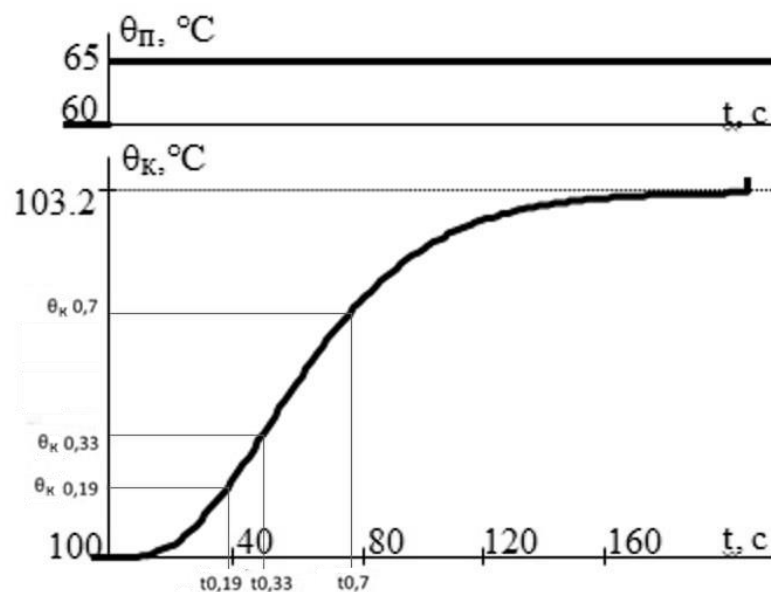


Рисунок 2.5 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом контрольованого збурення  $t_{0,33} = 50 \text{ c}$ ;  $t_{0,7} = 77 \text{ c}$ ;  $t_{0,19} = 39 \text{ c}$ .

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 50 - 77) = 36,5 \text{ c}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0)/1,2 = (77 - 36,5)/1,2 = 33,8 \text{ c}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_o(p) = \frac{0,64 \cdot e^{-36,5p}}{33,8p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку:

$$\theta_{K 0,19} = 0,19 \cdot 3,2 + 100 = 100,6 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.5), знаходимо  $t_{0,19}$ .

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 39 - 77) = 20 \text{ c}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - t_0)/2,4 = (77 - 20)/2,4 = 24 \text{ c}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_o(p) = \frac{0,64 \cdot e^{-20p}}{(24p + 1)^2}$$

## **2.5 Ідентифікація моделей статички каналів управління об'єкту регулювання з істотно нелінійними властивостями**

Метою цього підрозділу курсової 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.

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

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

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.

Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК зведено в таблицю 2.1 і на рис. 2.6.

Таблиця 2.1 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

$u_2, \% \text{х.р.о.}$	$\theta_{\text{п}}, ^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{к}}, ^\circ\text{C}$
45	60	100
55	60	112,5
35	60	87,5
65	60	125
45	65	103,2
45	70	106,4

45	75	109,6
45	55	96,8
45	50	93,6

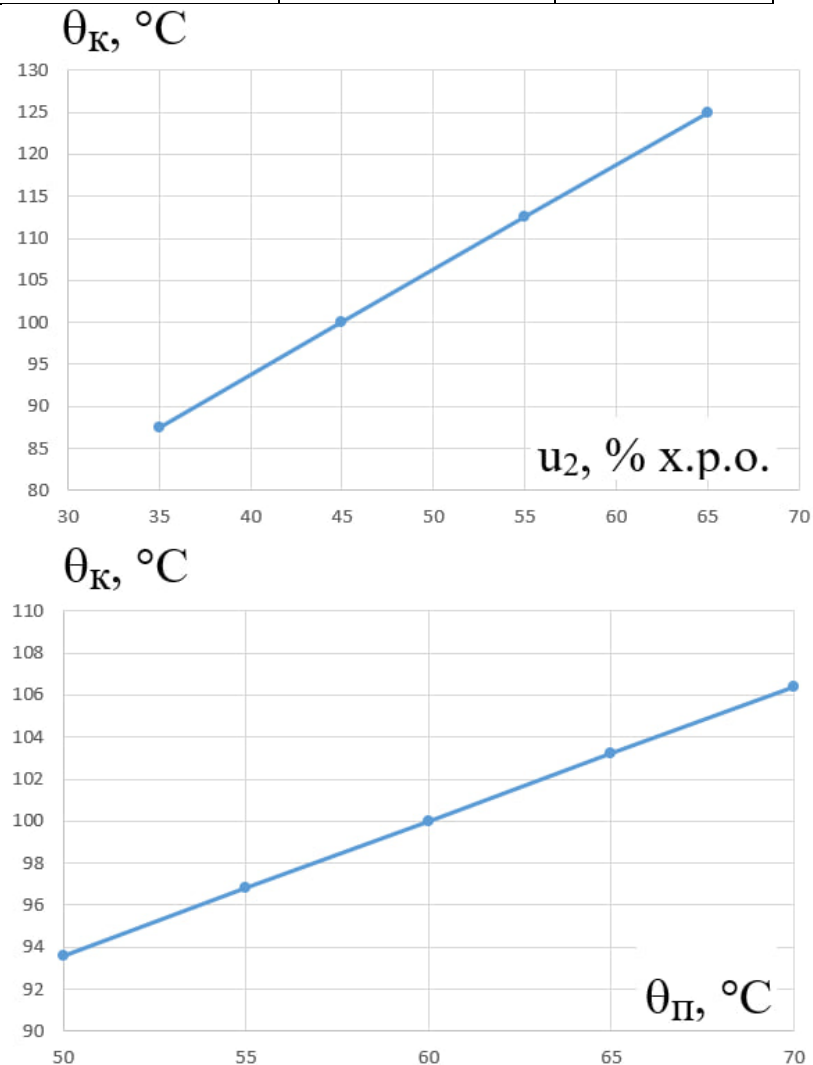


Рис. 2.6 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

Для проведення параметричної ідентифікації моделі статички ОК доцільно використовувати метод найменших квадратів. Суть методу полягає в пошуку такого вектора параметрів  $\hat{a}^*$  вибраної моделі, що забезпечував би мінімальну суму квадратів розходження між значеннями вихідної змінної об'єкта  $y$ , отриманих у результаті експерименту  $y_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  при значеннях вхідних змінних  $x_i$ , і вихідної змінної моделі об'єкту  $y_m$ , обчисленої при тих

же значеннях  $\vec{x}$ , тобто

$$\vec{a} = \operatorname{argmin} \left\{ I(\vec{a}) = \sum_{i=1}^n (y_i(\vec{x}_i) - y_i(\vec{a}_i \vec{x}_i))^2 \right\}.$$

Для досліджуваного ОК, статична характеристика може бути описана лінійною залежністю виду:

$$\theta_k = a_1 \cdot u_2 + a_2 \cdot \theta_n + a_0$$

Параметри  $a_1$  і  $a_2$  були нами визначені в процесі ідентифікації в даному розділі.

При цьому

$$a_1 = K_0 = 1,25 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{х.р.о.},$$

$$a_2 = 0,64$$

Параметр  $a_0$  можна визначити із залежності:

$$a_0 = \theta_k - a_1 \cdot u - a_2 \cdot \theta_n = 100 - 1,25 \cdot 45 - 0,64 \cdot 60 = 5,35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Отже, статична характеристика досліджуваного ОК буде описана залежністю:

$$\theta_k = 1,25 \cdot u_2 + 0,64 \cdot \theta_n + 5,35$$

## 2.6 Реалізація моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним.

У цьому підрозділі роботи в пакеті Simulink середовища Matlab для каналу « $u - \theta_k$ » ОК розробляється схема моделювання як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку.

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{1,25 \cdot e^{-19p}}{17,5p + 1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{1,25 \cdot e^{-13p}}{(11,25p + 1)^2}$$

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 готувлять експериментальні дані в табличному виді і реалізують їх у компоненті Look-Up-Table.

Для досліджуваного каналу ОК експериментальні дані зведено в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Експериментальні дані

t, c	$\theta_k, ^\circ\text{C}$
0	100
5	100,5
10	100,8
13	101,0
20	102,5
25	104,13
40	108,75
60	110
75	111
100	112,5
125	112,5
150	112,5

Схема моделювання каналу управління ОК наведена на рисунок 2.7.

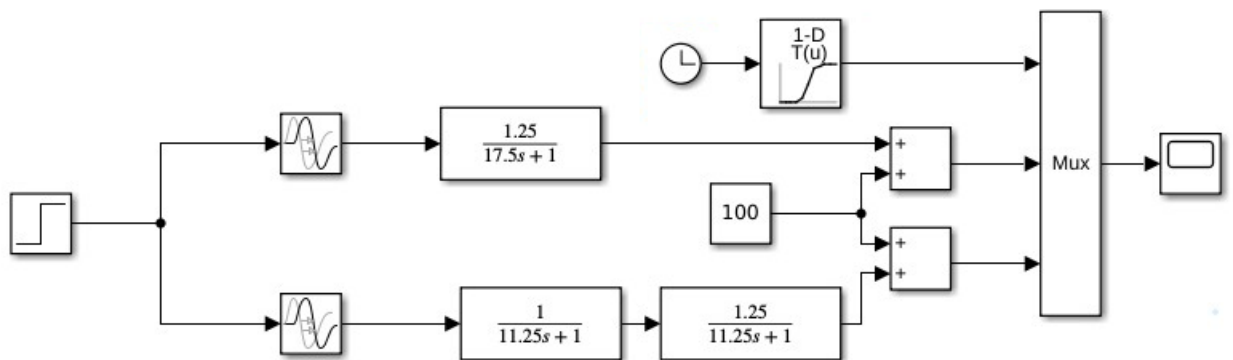


Рис. 2.8 – Схема моделювання каналу управління ОК

Результати моделювання наведені на рис. 2.9.

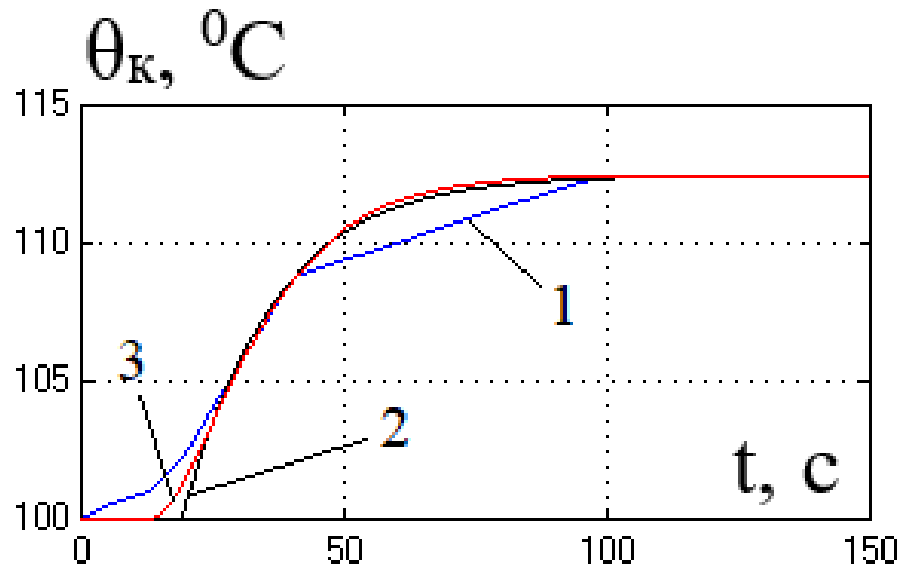


Рис. 2.10 – Результати моделювання ОК по каналу « $u - \theta_k$ »:

1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

Як видно по рисунку 2.10, результати моделювання достатньо точно повторюють експериментальні дані, а, отже, модель є правильною.

## **2.7 Розробка структурних схем моделювання статички каналів, отримання статичних характеристик моделей і їх порівняння з експериментальними статичними характеристиками.**

$$\theta_k = 1,25 \cdot u_2 + 0,64 \cdot \theta_{II} + 50,05$$

Для виконання цього розділу роботи скористаємося можливостями додатка MS Excel.

Експериментальні дані для перевірки моделі статички наведені в таблиці 2.1, результати розрахунків зведені в таблицю 3.2 та на рис. 3.3. Як видно з

таблиці та рисунку, результати моделювання достатньо точно повторюють експериментальні дані, а, отже, модель є правильною.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку моделі статички

ц, %х.р.о.	$\Theta_{\text{П}}, ^\circ\text{C}$	$\Theta_{\text{К}}, ^\circ\text{C}$	Модель $\theta_{\text{К}}$
45	60	100	100
55	60	112,5	112,5
35	60	87,5	87,5
65	60	125	125
45	65	103,2	103,2
45	70	106,4	106,4
45	75	109,6	109,6
45	55	96,8	96,8
45	50	93,6	93,6

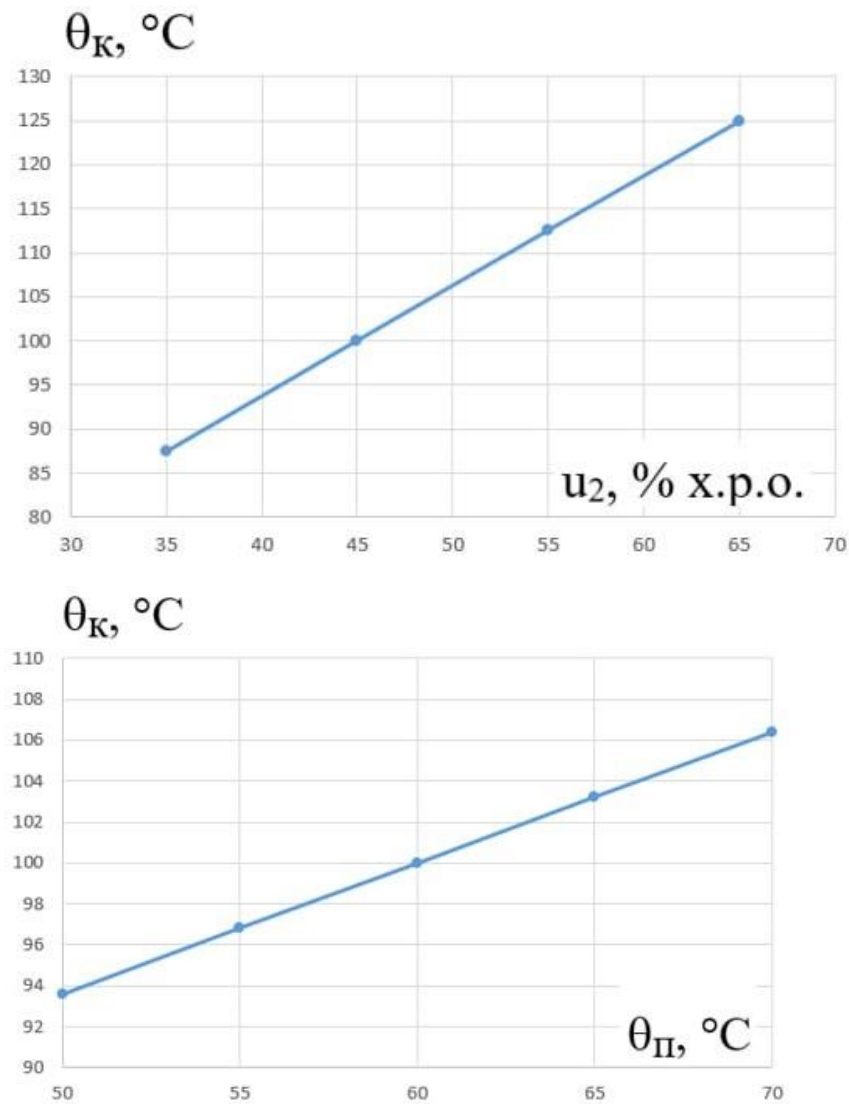


Рис. 2.11 – Результати розрахунку моделі статички

## 2.8 Реалізація в середовищі імітаційного моделювання повної моделі об'єкту управління та підтвердження її адекватності

Для реалізації повної моделі ОК об'єднуємо моделі динаміки і статички каналів ОК. Схема моделювання в середовищі MATLAB, що відображує модель ОК, наведена на рис. 2.12, а результати моделювання – на рис. 2.13.

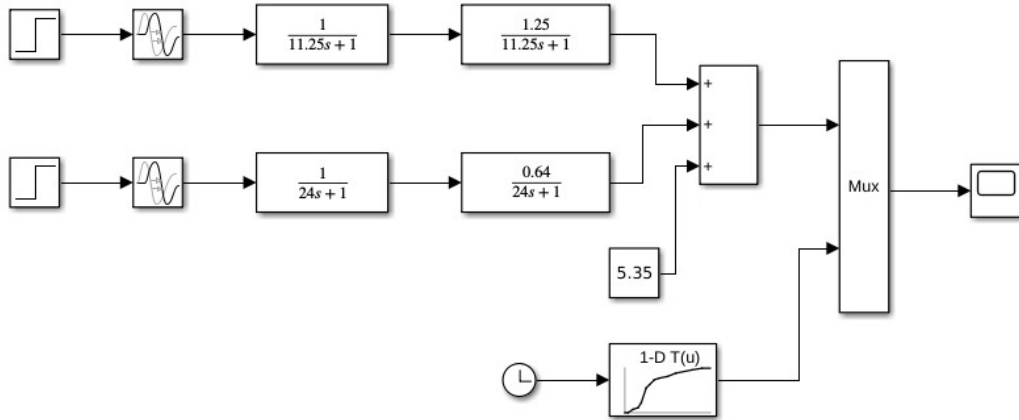


Рис. 2.12 – Схема моделювання каналу управління ОК за каналом контрольованого збурення

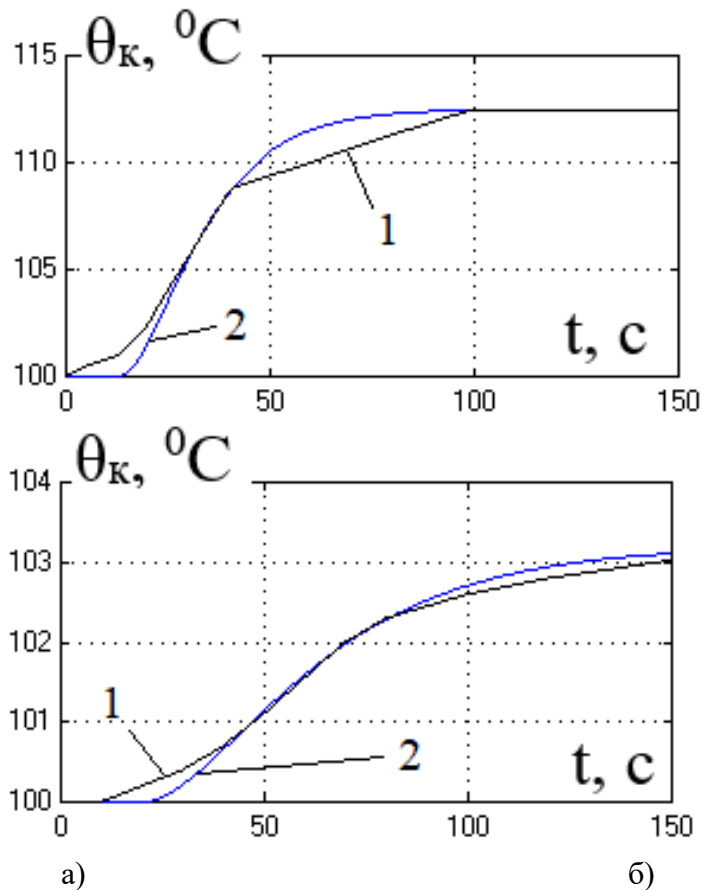


Рис. 2.13 – Результати моделювання: а) по каналу керування; б) по каналу контрольованого збурення; 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель

Як видно з результатів моделювання, модель ОК достатньо точно відображує експериментальні дані. Це означає, що отримана модель ОК є адекватною.

## **2.9 Висновки за розділом**

В результаті виконання цього розділу була проведена ідентифікація копчення риби, як об'єкта управління. Були ідентифіковані канали управління та перехресні канали, в результаті чого було з'ясовано, що всі вищезгадані канали володіють статичним властивостями, тобто властивостями самовирівнювання. Це пов'язано з тим, що протікають процеси, які за своєю природою мають такі властивості. При складанні структурних схем моделювання та їх реалізації були отримані результати (перехідні характеристики), які достатньо точно відтворюють експериментальні дані, що свідчить про правильність проведення процедури ідентифікації моделей каналів об'єкту регулювання.

### **3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР.**

#### **3.1 Формулювання задач керування технологічним агрегатом**

Загальна мета управління полягає в керуванні потоками матеріалів та енергії для досягнення відповідних властивостей та якості продукції. З цієї загальної мети можна виділити наступні конкретні завдання:

- регулювання – це завдання підтримувати вихідну змінну об'єкта управління ( $\theta_k$ ) на заданому рівні ( $\theta_{дн}$ );
- адаптація – це завдання адаптувати роботу об'єкта управління до його змінних характеристик під час експлуатації.
- оптимізація – це завдання забезпечення оптимальних режимів функціонування об'єкта управління для досягнення більшої ефективності.
- логічне керування – це завдання керувати ввімкненням та вимкненням об'єкта управління під час запусків, зупинок та в аварійних ситуаціях.

Кожну з управлінських задач необхідно автоматизувати і це є доцільним. У випадку завдання регулювання автоматизація необхідна для автоматичного контролю заданої змінної в обраному діапазоні з заданою точністю, без потреби в активній участі людини. Для забезпечення якісного та економічно доцільного виконання технологічного процесу гарячого копчення риби в камерній печі, необхідно автоматично регулювати температуру копчення ( $\theta_k$ ).

Для завдання адаптації необхідна автоматизація для пристосування об'єкта управління під час його роботи до змінних властивостей, які задані. Розглянутий технологічний процес є об'єктом неперервної дії, і властивості продукту значно впливають на динамічні характеристики цього об'єкта. Проте ці властивості мало змінюються протягом тривалого періоду роботи

установки. Цю проблему можна вирішити шляхом автоматичної корекції налаштувань регуляторів під час функціонування установки.

Для задачі оптимізації необхідна автоматизація для пошуку оптимальних режимів процесу з метою мінімізації витрат енергії, обмеження відходів готової продукції та підвищення продуктивності обладнання. У випадку технологічного процесу гарячого копчення риби, це завдання можна вирішити, підвищивши вимоги до регулювання процесу. Головним шляхом підвищення економічної ефективності цього процесу є зменшення витрат пари на виконання технологічного процесу.

Процес гарячого копчення риби в камерній печі є об'єктом неперервної дії, і для нього характерним є тривалий безперервний робочий режим, який управляється віддалено. Режими запуску та зупинки об'єкта є неекономічними, і підвищення економічної ефективності роботи цього процесу в режимах запуску та зупинки можливе завдяки автоматизації цих завдань. Тому для даного технологічного процесу важливо впровадити автоматизацію задачі логічного керування.

### **3.2 Формалізація інтегральних вимог до перехідних та динамічно сталих процесів регулювання у формі інтегральних критеріїв оптимальності САР.**

Температура в камері копильній  $\theta_k$  має підтримуватися на рівні  $100^{\circ}\text{C}$  з точністю  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . За цим параметром припустимі короткочасні відхилення до  $\pm 4^{\circ}\text{C}$  протягом часу не більше 180 секунд.

Регламентна зона за цим параметром наведена на рис. 3.1.

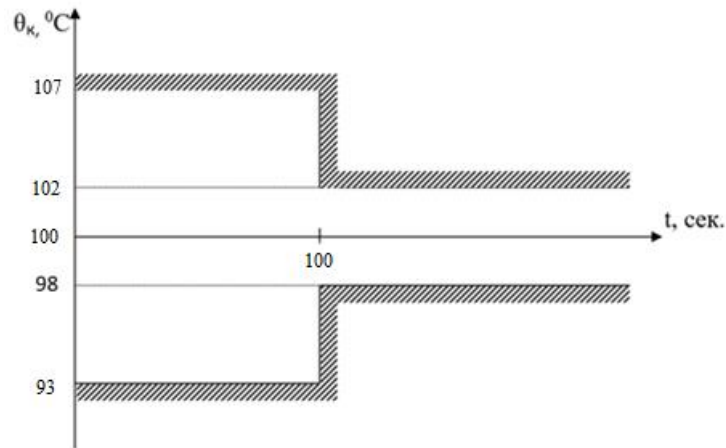


Рис. 3.1 – Регламентна зона для температури в копильній камері  $\theta_k$

З регламентів щодо системи автоматичного регулювання (САР) для процесу гарячого копчення риби видно, що особливу увагу приділяють короткочасним відхиленням, оскільки саме недотримання цих регуляцій може призвести до виробничих дефектів та значних фінансових втрат. У цьому контексті дрібні відхилення регулюються дуже суворо. Тому для оцінки ефективності роботи САР температури та підвищення її динамічної точності доцільно використовувати інтегральний квадратичний критерій, де значення більших відхилень сильно штрафуються. Таким чином, ефективність роботи системи оцінюється за допомогою цього критерію.

$$J_2 = \int_0^{t_M} [\Delta\theta_k(t)]^2 \cdot dt$$

де  $t_M$  – час моделювання;

$\Delta\theta_k(t)$  – відхилення температури копчення від заданого значення.

### 3.3 Синтез і аналіз системи автоматичного регулювання базової структури

Недостатня точність системи автоматичного регулювання (САР) може бути викликана зовнішніми факторами, такими як сильні контрольовані та неконтрольовані впливи, різкі зміни в поставлених завданнях для САР, а також внутрішні особливості об'єкта управління (ОУ) і самої САР (наприклад, велике співвідношення між часовими константами  $\tau_o/T_o$ , взаємний вплив між каналами в багатовимірній САР).

У нашому випадку основною причиною недостатньої динамічної точності системи автоматичного регулювання (САР) є вплив контрольованого обурення. Головним методом підвищення динамічної точності саме розглянутої САР є створення такої системи регулювання, яка буде стійкою до впливу цього контрольованого обурення.

Структурна схема САР, яка є стійкою до впливу контрольованого обурення, буде мати вигляд, як показано на рисунку 3.2.

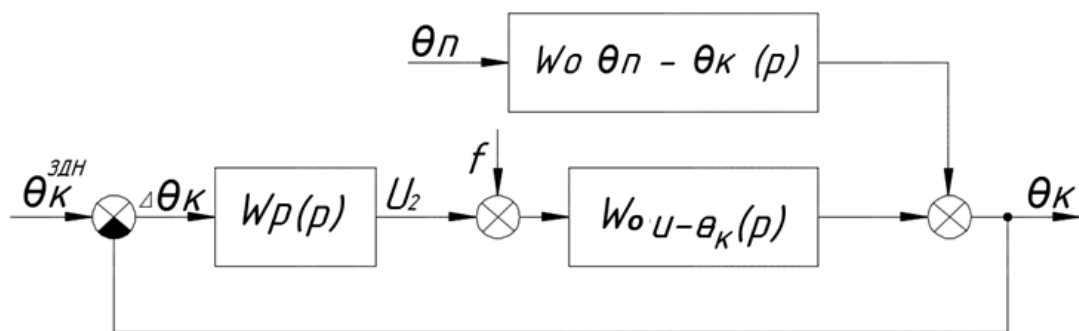


Рис. 3.2 – Схема САР с замкнутим управлінням

На схемі  $W_k(p)$  – передавальна функція коригувального зв'язку.

Процес копчення риби за всіма каналами має статичні властивості, тому в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання обираємо

пропорційно-інтегральний (ПІ) і пропорційно-інтегрально-диференційний (ПІД) алгоритми регулювання.

Рівняння руху ПІ-регулятора

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

Передаточна функція ПІ-регулятора

$$W^P(p) = K_p \cdot \left( 1 + \frac{1}{T_{ИЗ} p} \right)$$

Рівняння руху ПІД-регулятора

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

Передаточна функція ПІД-регулятора

$$W^P(p) = K_p \cdot \left( 1 + \frac{1}{T_{ИЗ} p} + \frac{T_{ИД} p}{0,2 \cdot T_{ИД} p + 1} \right)$$

В результаті виконання 3 розділу курсової роботи була проведена ідентифікація моделей каналів перетворення координатних дій технологічного процесу копчення риби. Результати ідентифікації зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати ідентифікації каналів перетворення координатних дій ОК

Канал ОК	Модель динаміки	
	1-го порядку	2-го порядку
«u – $\theta_k$ »	$W_o(p) = \frac{1,25 \cdot e^{-19p}}{17,5p + 1}$	$W_o(p) = \frac{1,25 \cdot e^{-13p}}{(11,25p + 1)^2}$

« $\theta_{\Pi} - \theta_K$ »	$W_o(p) = \frac{0,64 \cdot e^{-36,5p}}{33,8p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,64 \cdot e^{-20p}}{(24p + 1)^2}$
-------------------------------	--	--

Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 3.3, а с ПІД-регулятором - на рис. 3.4. Структурна схема моделювання ОК наведена на рис. 3.5.

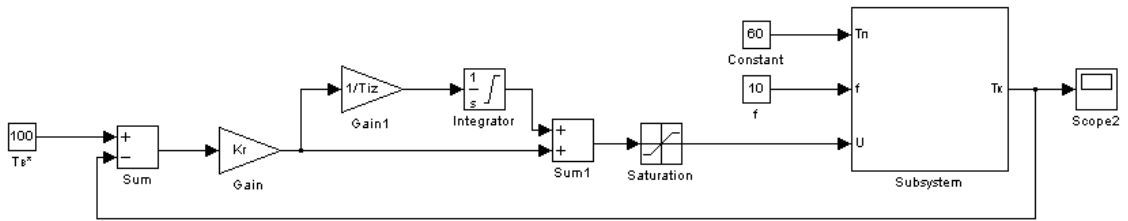


Рис. 3.3 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

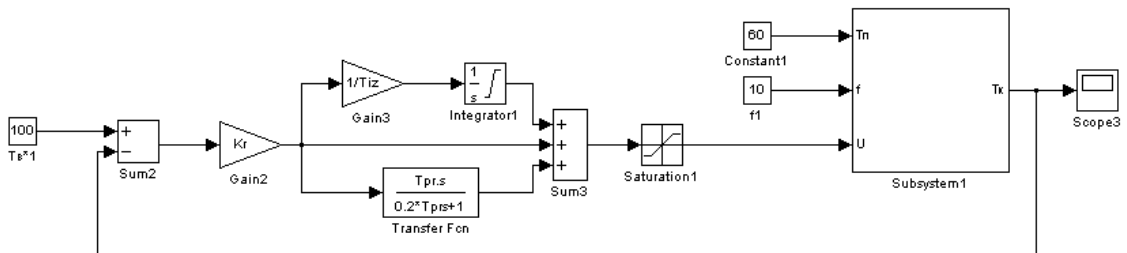


Рис. 3.4 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором

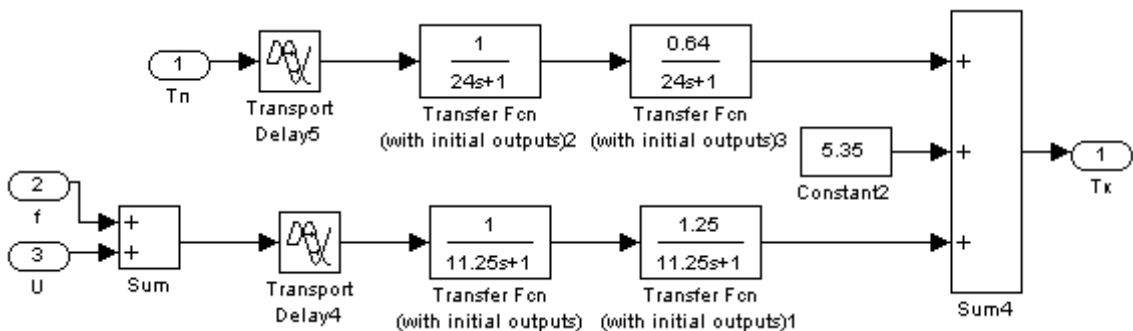


Рис. 3.5 – Структурна схема моделювання ОК

### 3.4 Параметричний синтез САР з різними варіантами типових алгоритмів регулювання і їх порівняльний аналіз для детермінованих вхідних дій

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК:

$$W_o(p) = \frac{1,25 \cdot e^{-19p}}{17,5p + 1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_p = \frac{0,8 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o} = \frac{0,8 \cdot 17,5}{1,25 \cdot 19} = 0,59 \frac{\% \text{х.р.о.}}{^{\circ}\text{C}} \quad T_{\text{ИЗ}} = 2,5 \cdot \tau_o = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{с}$$

Розрахунок параметрів ПД- регулятора:

$$K_p = \frac{1 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o} = \frac{1 \cdot 17,5}{1,25 \cdot 19} = 0,7 \frac{\% \text{х.р.о.}}{^{\circ}\text{C}}$$

$$T_{\text{ИЗ}} = 2 \cdot \tau_o = 2 \cdot 19 = 38 \text{с}$$

$$T_{\text{ПР}} = \tau_o = 19 \text{с}$$

Для оптимального параметричного синтезу САР температури пастеризації соку з ПІ-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.6. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора наведені на рис. 3.7.

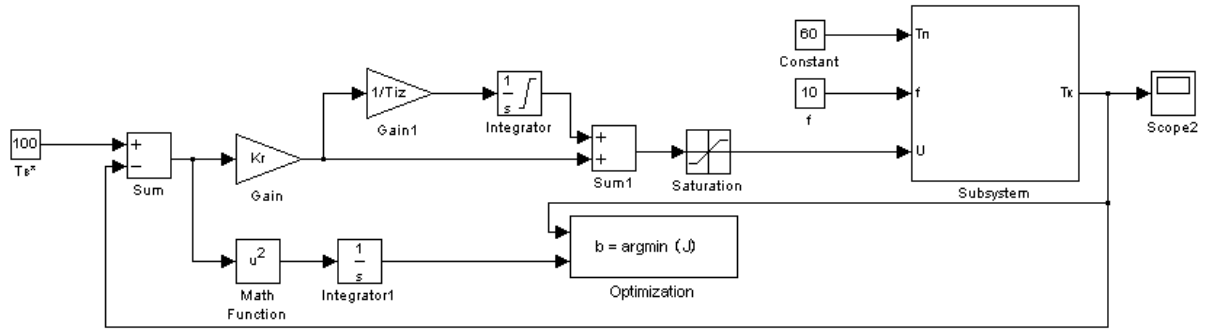
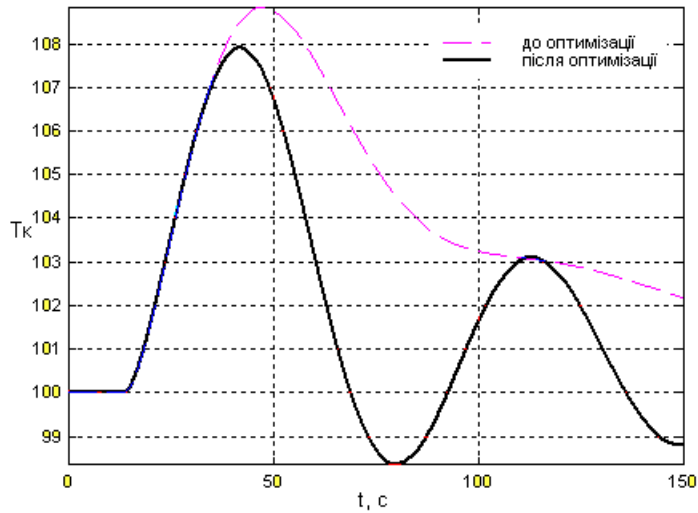


Рис. 3.6 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІ-регулятора



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
$K_r$	1.2517	0	0.59	6	до - 3493.6501
$T_{iz}$	39.2064	0.1	47.5	200	після - 1741.6057
					оптимізації.
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1000
					фактична - 75

Рис. 3.7 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора

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

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

САР з ПІ-регулятором	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta\theta_K^{\text{МАКС}}$	$T_{\text{пп}}, \text{с}$	
до оптимізації	8,83	156	3494
після оптимізації	7,9	124,6	1742

Для оптимального параметричного синтезу САР температури пастеризації соку з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.8. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рисунку 3.9.

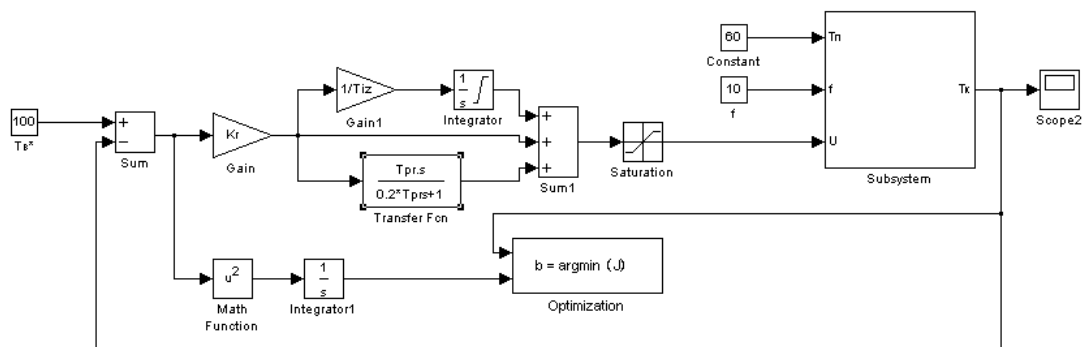
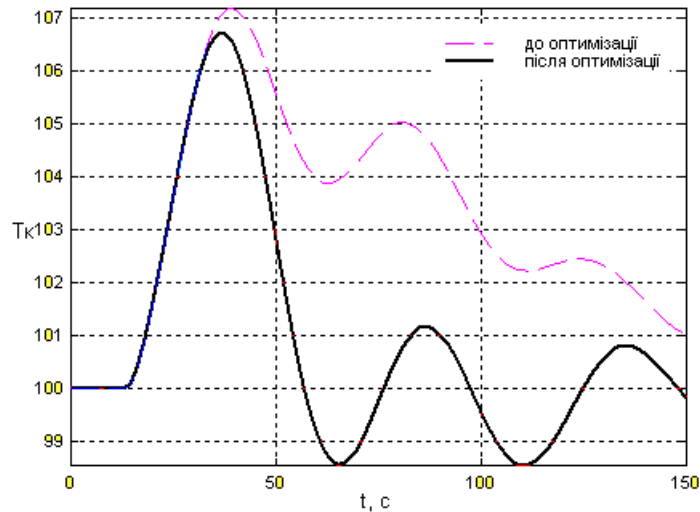


Рис. 3.8 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регулятора



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr	1.3096	0	0.7	6	до - 2212.2259
Tiz	18.5646	0.1	38	200	після - 895.7574
Tpr	10.34	0	19	50	оптимізації.
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1000
					фактична - 149

Рис. 3.9 – Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведемо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати порівняння САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІД-регулятором	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta\theta_K^{\text{МАКС}}$	Tпп, с	
до оптимізації	7,18	135	2212
після оптимізації	6,7	51,85	896

Для проведення порівняльного аналізу САР з ПІ- та ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.10. При цьому структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 3.11, а САР з ПІД-регулятором - на рис. 3.12. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.13 і в таблиці 3.4.

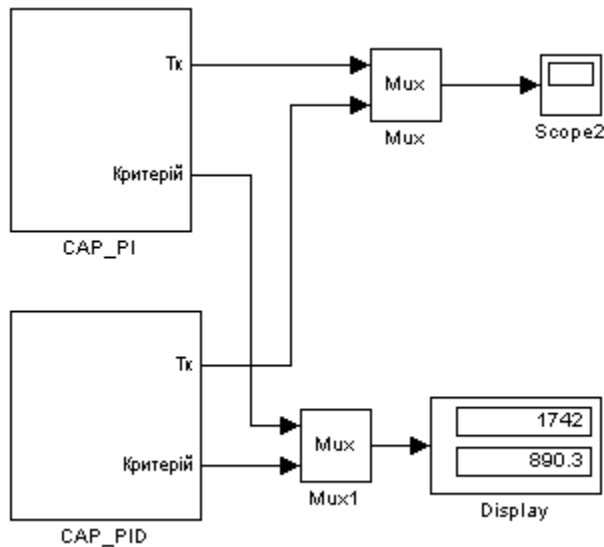


Рис. 3.10 - Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

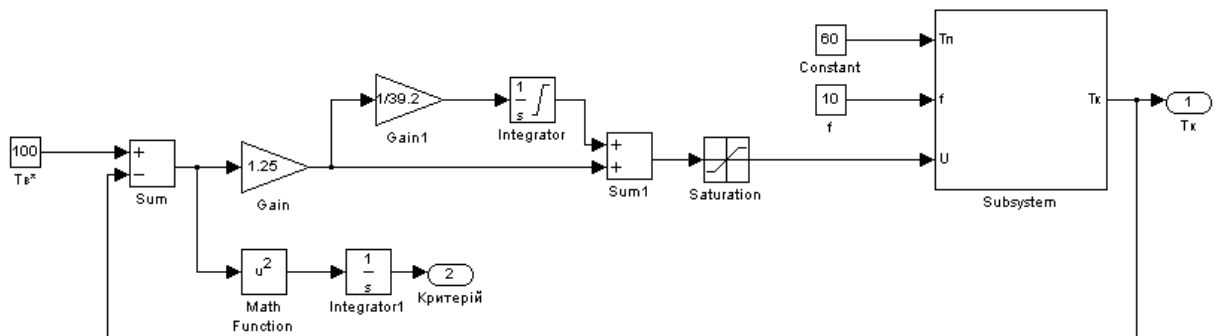


Рис. 3.11 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

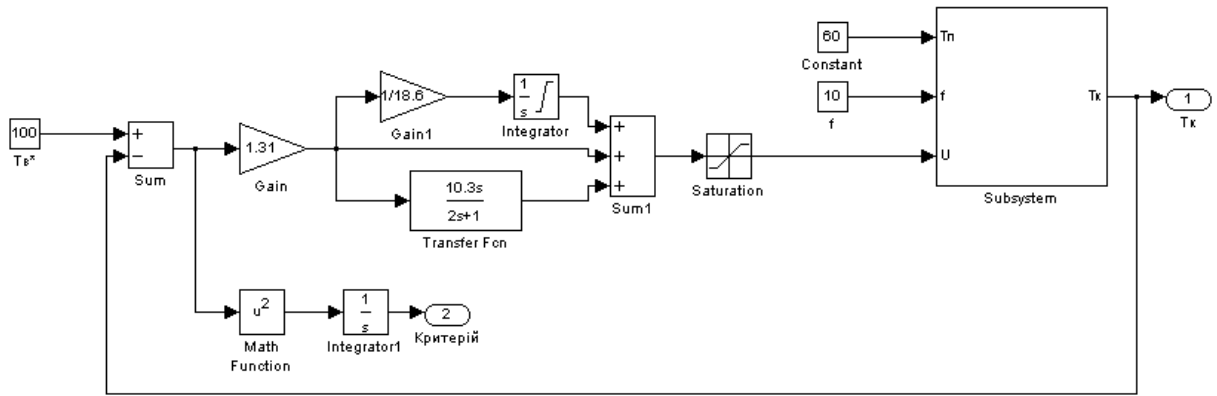


Рис. 3.12 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором

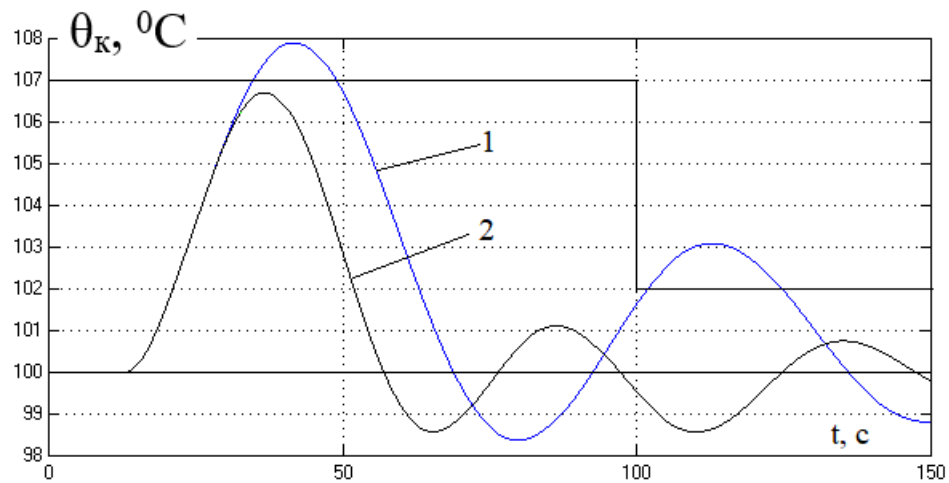


Рис. 3.13 – Результати сравнения вариантов САР: 1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором.

Таблиця 3.4 – Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta\theta_k^{\text{МАКС}}$	$T_{\text{ПІ}}, ^\circ\text{C}$	
ПІ	7,9	124,6	1742
ПІД	6,7	51,85	890,3

Як видно з результатів порівняння перехідних процесів, САР з ПІД-регулятором є кращої за усіма показниками. Тому ПІД-закон регулювання будемо використовувати і надалі.

### **3.5 Аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОК**

В процесі роботи теплообмінника може змінюватися час запізнення в каналах ОК. Слід відзначити, що внаслідок нелінійності, параметри каналів можуть варіювати в межах до  $\pm 20\%$ . При цьому дослідження САР на грубість слід проводити в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень  $10\%x.p.o.$  і детермінованого ступінчастого контрольованого збурення в  $5^{\circ}C$ . Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПІ- та ПІД-регуляторами на грубість наведені на рис. 5.6 і 5.8.

Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість наведені на рис. 3.14, а САР з ПІД-регулятором – на рис. 3.15. Як видно з результатів, САР і з ПІ-регулятором, і з ПІД-регулятором є грубою, оскільки в умовах варіації параметрів ОК дає перехідні процеси, що сходяться. Але також в умовах дії збурень детермінованого характеру перехідні процеси в САР виходять за рамки регламентних зон.

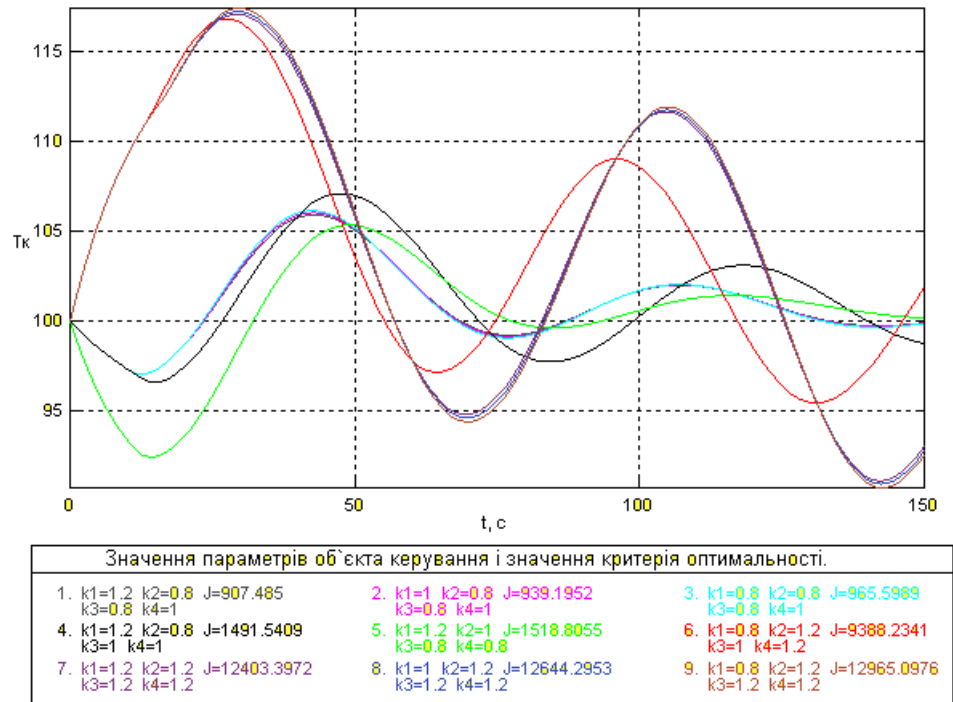


Рис. 3.14 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регулятором в умовах дії детермінованих контрольованих та неконтрольованих збурень

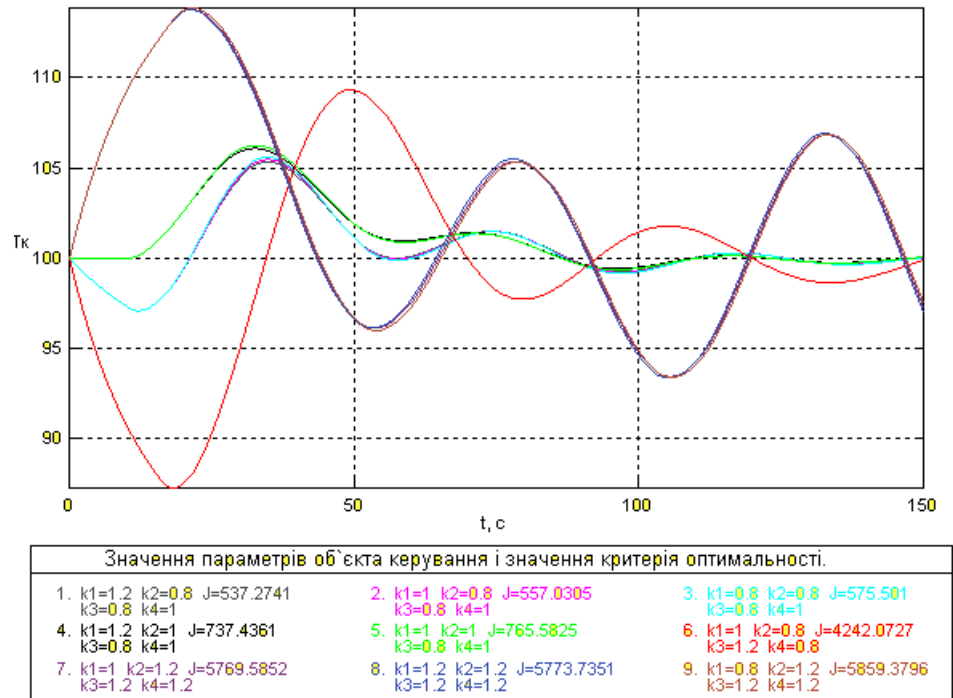


Рис. 3.15 - Аналіз на грубість САР з ПІД-регулятором в умовах дії детермінованих контрольованих та неконтрольованих збурень.

### 3.6 Синтез та аналіз САР підвищеної динамічної точності

Причиною недостатньої точності САР можуть бути зовнішні умови: вплив інтенсивних контрольованих і неконтрольованих збурень, інтенсивні зміни завдання САР, а також внутрішні особливості ОК і САР (значне співвідношення  $\tau_0/T_0$ , взаємний вплив каналів в багатовимірному САР).

У нашому випадку основною причиною недостатньої динамічної точності САР є дія контрольованого збурення. Основним способом підвищення динамічної точності розглянутої САР є побудова САР, інваріантної до дії контрольованого збурення.

Основою для підвищення динамічної точності САР послужить принцип двухканального Петрова, суть якого полягає у введенні додаткового каналу впливу « $R_p - \theta_2$ » через коригувальний зв'язок. Відповідно до принципу інваріантності Петрова структурна схема САР-інваріанта дії керованого збурення матиме вигляд, показаний на рис. 3.16.

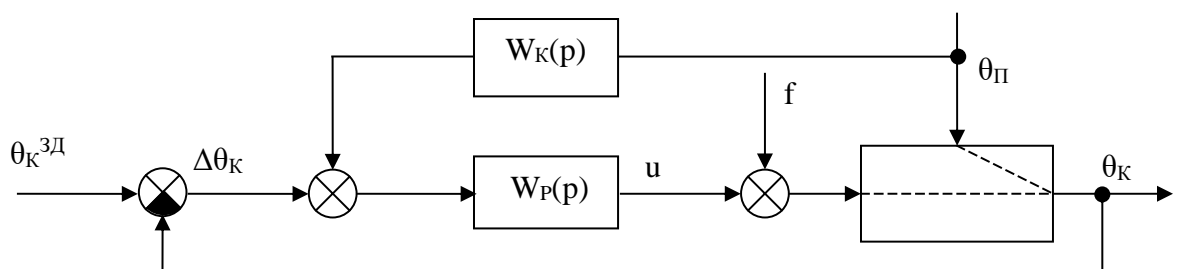


Рис. 3.16 – Структурна схема САР, інваріантного до дії контрольованого збурення

На схемі  $W_K(p)$  - передавальна функція коригувальної муфти.

Обов'язковою умовою реалізації САР є фізична можливість організації додаткового каналу впливу для контрольованого збурення, а для САР, що

розглядається, така можливість існує. Достатньою умовою реалізації САР є фізична здійсненність передавальної функції коригувальної муфти.

Для забезпечення інваріантності дії керованого збурення САР повинен забезпечувати похибку стабілізації, рівну нулю:

$$\Delta\theta_{\text{кстаб}} = 0$$

Відомо, що

$$\Delta\theta_{\text{кстаб}} = W_{\theta_{\Pi}-\theta_{\kappa}}^C(p) \cdot \theta_{\Pi} = 0$$

Відомо, що  $R_p \neq 0$ , то

$$W_{\theta_{\Pi}-\theta_{\kappa}}^C(p) = 0$$

$$W_{\theta_{\Pi}-\theta_{\kappa}}^C(p) = \frac{W_{\theta_{\Pi}-\theta_{\kappa}}^o(p)}{1 + W_P(p)W_{u-\theta_{\kappa}}^o(p)} + \frac{W_K(p) \cdot W_P(p) \cdot W_{u-\theta_{\kappa}}^o(p)}{1 + W_P(p) \cdot W_{u-\theta_{\kappa}}^o(p)} = 0$$

Отже

$$W_K(p) = -\frac{W_{\theta_{\Pi}-\theta_{\kappa}}^o(p)}{W_P(p)W_{u-\theta_{\kappa}}^o(p)}$$

Якщо

$$W_{u-\theta_{\kappa}}^o(p) = \frac{1,25 \cdot e^{-19p}}{17,5p + 1}$$

$$W_{\theta_{\Pi}-\theta_{\kappa}}^o(p) = \frac{0,64 \cdot e^{-36,5p}}{33,8p + 1}$$

$$W_P(p) = 1,31 \cdot \left(1 + \frac{1}{18,6p} + 10,3p\right)$$

Тоді

$$\begin{aligned}
 W_K(p) &= -\frac{\frac{0,64 \cdot e^{-36,5p}}{33,8p+1}}{1,31 \cdot \left(1 + \frac{1}{18,6p} + 10,3p\right) \cdot \frac{1,25 \cdot e^{-19p}}{17,5p+1}} = -\frac{0,64 \cdot e^{-36,5p}}{(33,8p+1) \cdot 1,31 \cdot \left(1 + \frac{1}{18,6p} + 10,3p\right) \cdot \frac{1,25 \cdot e^{-19p}}{17,5p+1}} = \\
 &= -\frac{0,64 \cdot e^{-36,5p} \cdot (17,5p+1)}{(33,8p+1) \cdot 1,31 \cdot \left(1 + \frac{1}{18,6p} + 10,3p\right) \cdot 1,25 \cdot e^{-19p}} = -\frac{0,64 \cdot (17,5p+1)}{(33,8p+1) \cdot 1,31 \cdot \left(1 + \frac{1}{18,6p} + 10,3p\right) \cdot 1,25} \cdot \\
 e^{-17,5p} &= -\frac{0,64 \cdot (17,5p+1)}{1,31 \cdot 1,25 \cdot (33,8p+1) \cdot \left(1 + \frac{1}{18,6p} + 10,3p\right)} \cdot e^{-17,5p} = \\
 &= -\frac{0,64 \cdot (17,5p+1)}{1,6375 \cdot (33,8p+1) \cdot \left(1 + \frac{1}{18,6p} + 10,3p\right)} \cdot e^{-17,5p} = -\frac{0,64 \cdot (17,5p+1)}{1,6375 \cdot (33,8p+1) \cdot \left(\frac{18,6p+1+18,6p \cdot 10,3p}{18,6p}\right)} \cdot \\
 e^{-17,5p} &= -\frac{0,64 \cdot (17,5p+1) \cdot 18,6p}{1,6375 \cdot (33,8p+1) \cdot (10,3 \cdot 18,6p^2 + 18,6p + 1)} \cdot e^{-17,5p} = \\
 &= -\frac{0,64 \cdot 18,6p \cdot (17,5p+1)}{1,6375 \cdot (33,8p+1) \cdot (10,3 \cdot 18,6p^2 + 18,6p + 1)} \cdot e^{-17,5p} = \\
 &= -\frac{11,904p \cdot (17,5p+1)}{1,6375 \cdot (33,8p+1) \cdot (10,3 \cdot 18,6p^2 + 18,6p + 1)} \cdot e^{-17,5p} = -0,012 \cdot \\
 &= \frac{11,904p \cdot (17,5p+1)}{(33,8p+1) \cdot (191,58p^2 + 18,6p + 1)} \cdot e^{-17,5p}
 \end{aligned}$$

Результуюча передавальна функція корекційного зв'язку є фізично реалізовуваною.

Ітак, передаточна функція коригувального з'єднання буде такою:

$$W_K(p) = -0,012 \cdot \frac{11,904p \cdot (17,5p + 1)}{(33,8p + 1) \cdot (191,58p^2 + 18,6p + 1)} \cdot e^{-17,5p}$$

Структурна схема моделювання передавальної функції коригувальної муфти наведена на рис. 3.17, а його перехідна характеристика показана на рис. 3.18.

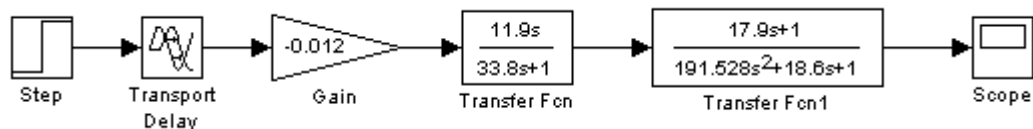


Рис. 3.17 – Структурна схема моделювання передавальної функції коригуючого зв'язку

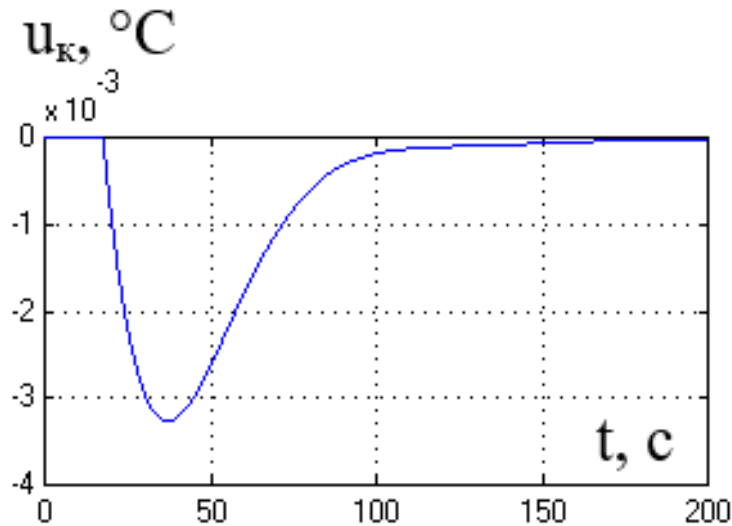


Рис. 3.18 – Перехідна характеристика коригувального зв'язку

### 3.7 Спрощення коригувальних зв'язків з урахуванням особливостей їх технічної реалізації та параметричного синтезу САР при детермінованих вхідних ефектах

Результуюча передаточна функція коригуючого зв'язку є занадто складною, тому її доцільно спростити, зберігши її диференціюючі властивості. Спрощена передавальна функція коригуючого зв'язку буде наступною:

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

В якості початкових наближень параметрів корекційного зв'язку візьмемо наступні значення параметрів:  $K_K = -0,012$ ;  $T_{K1} = 14 \text{ c}$ ;  $T_{K2} = 17,5 \text{ c}$ .

Для уточнення вихідних наближень параметрів коригувального відношення скористаємося схемою моделювання, наведеною на рис. 3.19. Результати розрахунку початкових наближень параметрів коригувального зв'язку наведені на рис. 3.20, а результати моделювання показані на рис. 3.21.

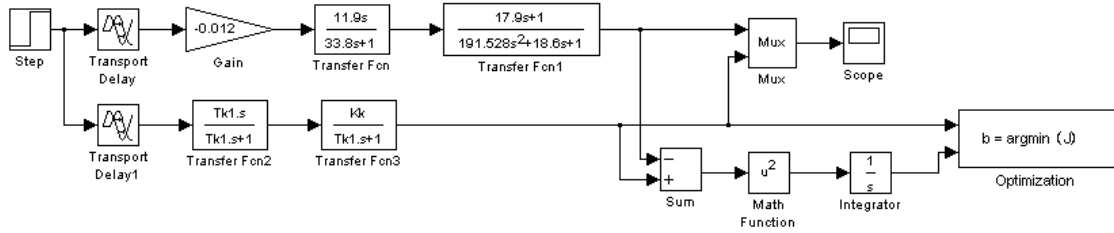


Рис. 3.19 – Імітаційна схема уточнення початкових наближень параметрів корекційного зв'язку

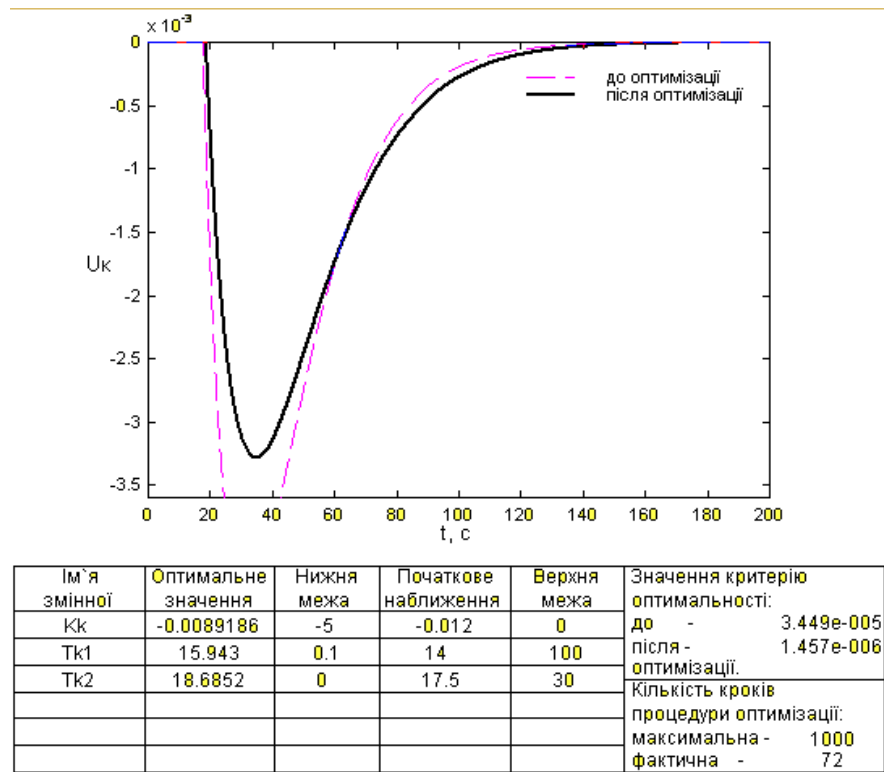


Рис. 3.20 – Результати розрахунку початкових наближень параметрів корекційного зв'язку

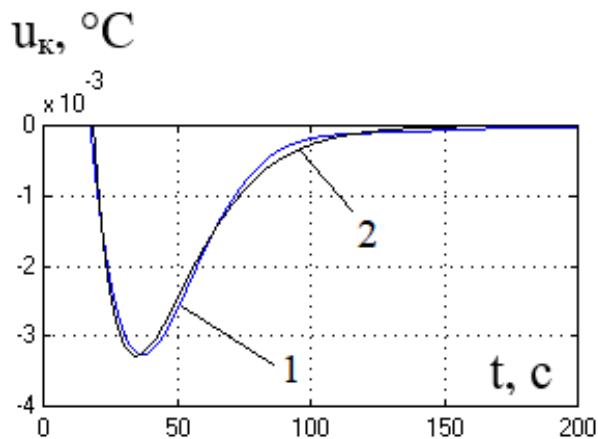


Рис. 3.21 – Перехідна характеристика конструкції та спрощена корекційна залежність: 1 – розрахунковий КЗ; 2 – спрощений КЗ.

Схема моделювання САР з підвищеною динамічною точністю для оптимального параметричного синтезу корекційного зв'язку наведена на рис. 3.22, а результати оптимізації показані на рис. 3.23.

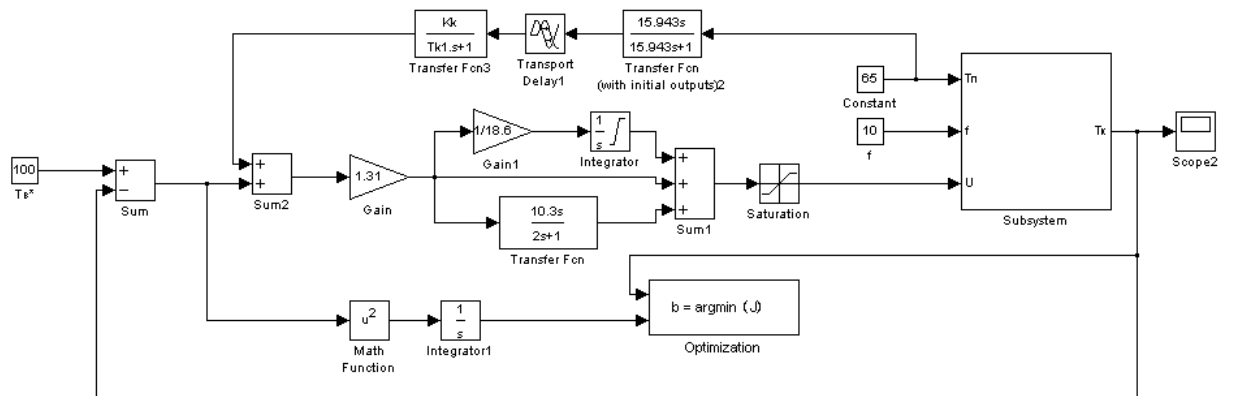
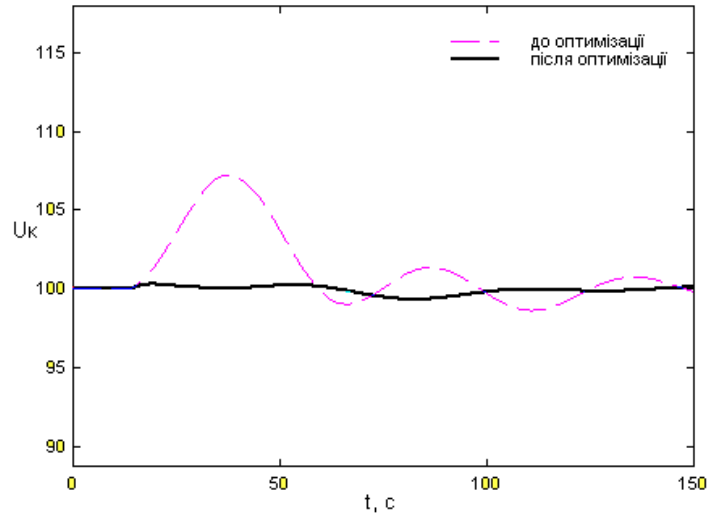


Рис. 3.22 – Схема моделювання САР з підвищеною динамічною точністю для оптимального параметричного синтезу коригуючого зв'язку



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kk	-2.5844	-5	-0.0089	5	до - 1044.8803
Tk1	14.5585	0.1	15.9	300	після - 10.0663
Tk2	0	0	18.7	50	оптимізації.
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1000
					фактична - 214

Рис. 3.23 – Результати оптимізації параметрів коригуючого зв'язку

Прооптимізуємо спільно налаштування ПД-регулятора і параметрів коригуючого зв'язку. Схема моделювання наведена на рис. 3.24, а результати оптимізації – на рис. 3.25.

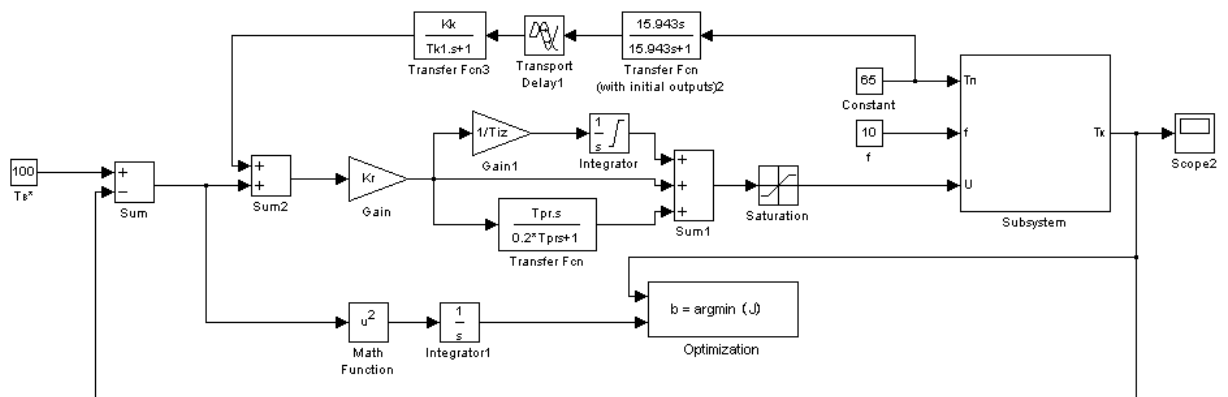
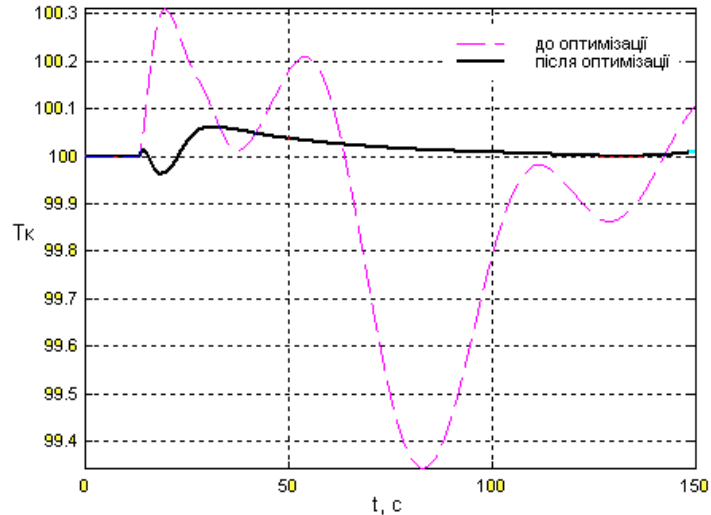


Рис. 3.24 – Схема моделювання САР з підвищеною динамічною точністю для оптимального параметричного синтезу коригуючого зв'язку і ПД-регулятора



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kk	-1.5552	-5	-2.58	5	до - 9.9528
Tk1	2.6501	0.1	14.6	300	після - 0.093764
Tk2	0.0096247	0	0	50	оптимізації.
Kr	2.1541	0	1.31	50	Кількість кроків процедури оптимізації:
Tiz	3.9273	0.1	18.6	400	максимальна - 2000
Tpr	2.3109	0	10.3	50	фактична - 1587

Рис. 3.25 – Результати оптимізації параметрів коригуючого зв'язку і ПІД-регулятора

### 3.8 Аналіз грубості САР підвищеної динамічної точності до варіацій параметрів об'єкта регулювання.

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

Результати випробувань САР підвищеної динамічної точності на крупність в умовах зміни параметрів об'єкта операції наведені на рис. 3.26. Як видно з результатів оцінки САР на грубість, в умовах варіації параметрів САР дає збіжні перехідні процеси зі значною амплітудою коливання, а значить, САР підвищеної динамічної точності є негрубою.

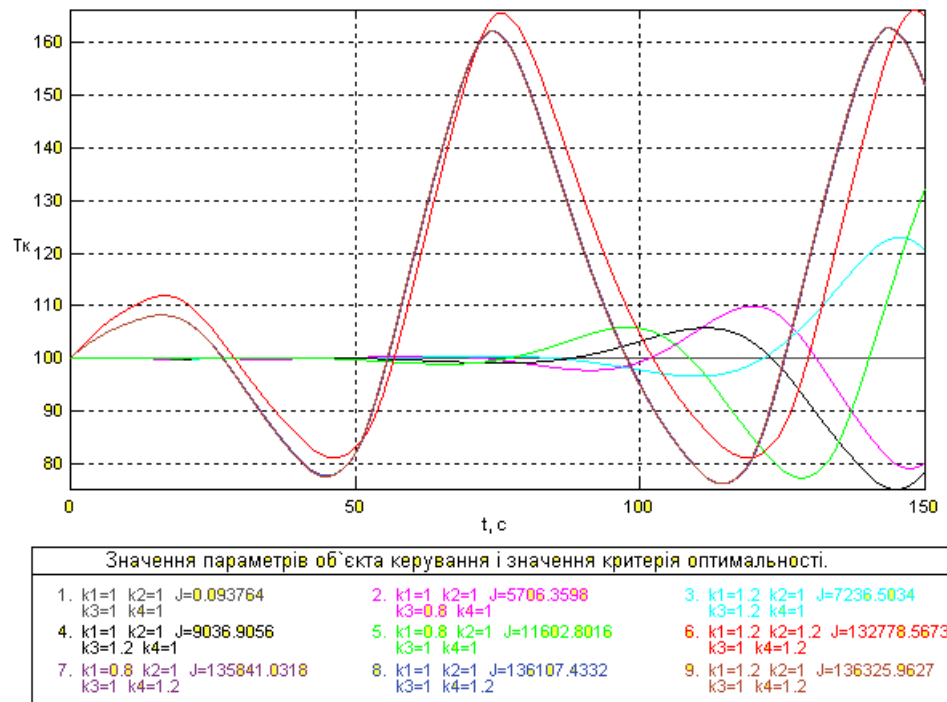


Рис. 3.26 – Аналіз грубості САР підвищеної динамічної точності в умовах зміни параметрів об'єкта ОК

САР підвищеної динамічної точності в умовах варіації параметрів ОК виявилася негрубою. Для забезпечення грубості САР було прооптимізовано налаштування коригуючого зв'язку і регулятора при найгірших для керування параметрах ОК. Але і така САР виявилася негрубою. Тому для забезпечення грубості САР було проведено оптимізацію параметрів регуляторів в умовах параметричної невизначеності ОК. Результати оптимізації наведено на рис. 3.27, а результати перевірки такої САР на грубість наведено на рис. 3.28. Як показують результати перевірки САР на грубість, САР підвищеної динамічної точності є грубою.

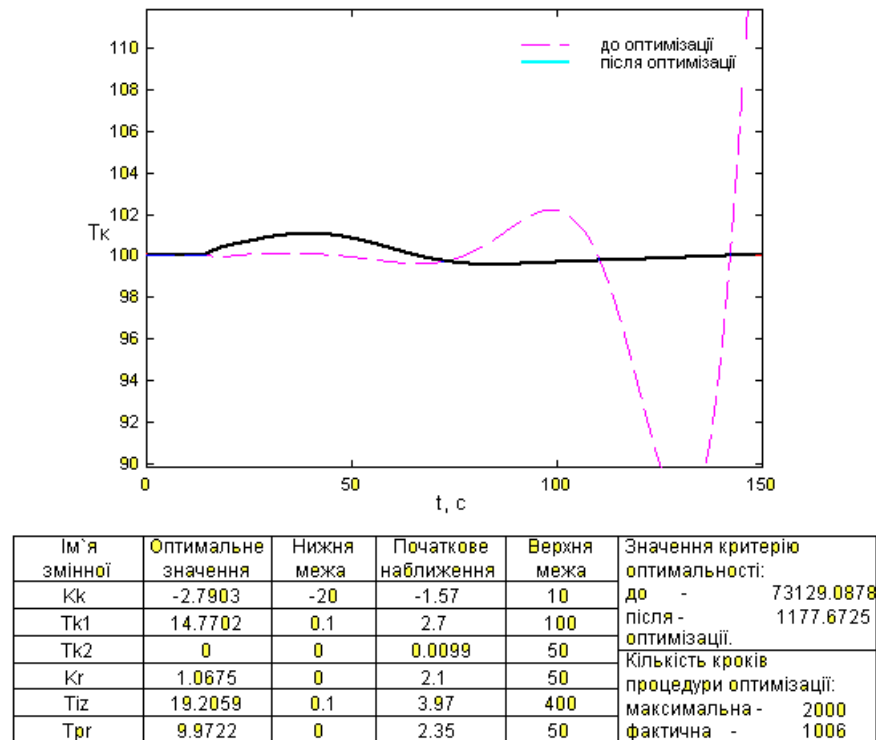


Рис. 3.27 – Результати оптимізації параметрів коригуючого зв'язку і ПІД-регулятора в умовах параметричної невизначеності параметрів ОК

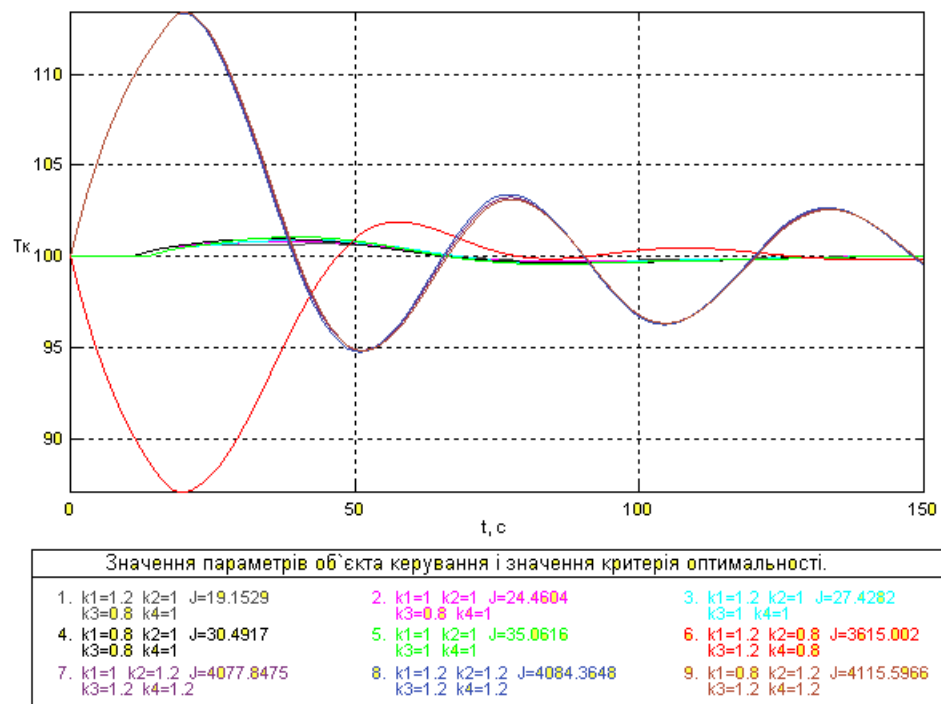


Рис. 3.28 – Аналіз грубості САР підвищеної динамічної точності в умовах зміни параметрів об'єкта ОК

### 3.9 Порівняльний аналіз перехідних процесів у параметрично оптимальних САР за величинами критеріїв та показників, на які встановлені гранично-допустимі значення.

Для порівняння якості роботи САР базової структури та підвищеної динамічної точності була розроблена структурна схема моделювання, яка наведена на рис. 3.29, а результати порівняння наведені на рис. 3.30 і табл. 3.5.

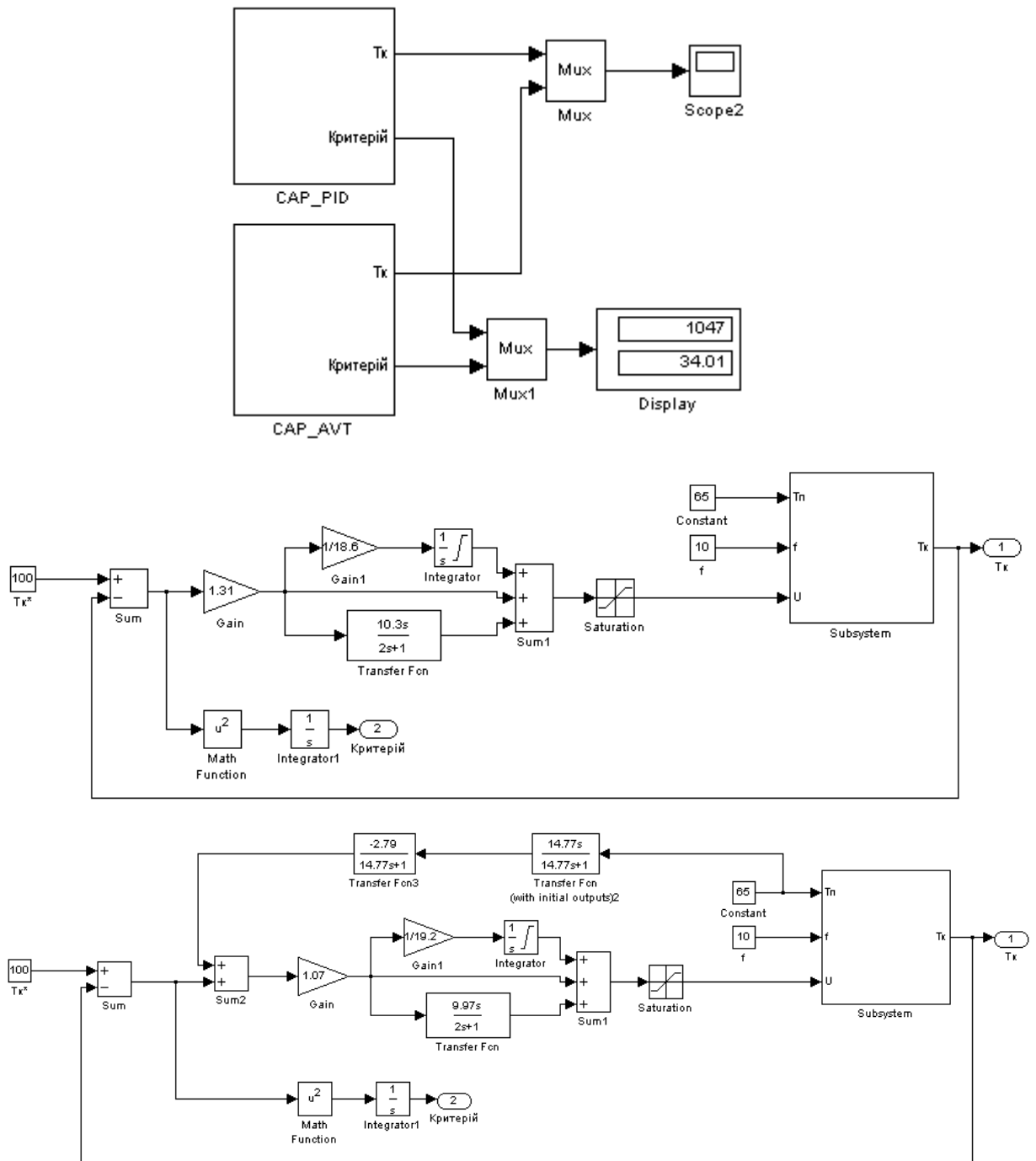


Рис. 3.29 - Структура імітаційної структури для порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності.

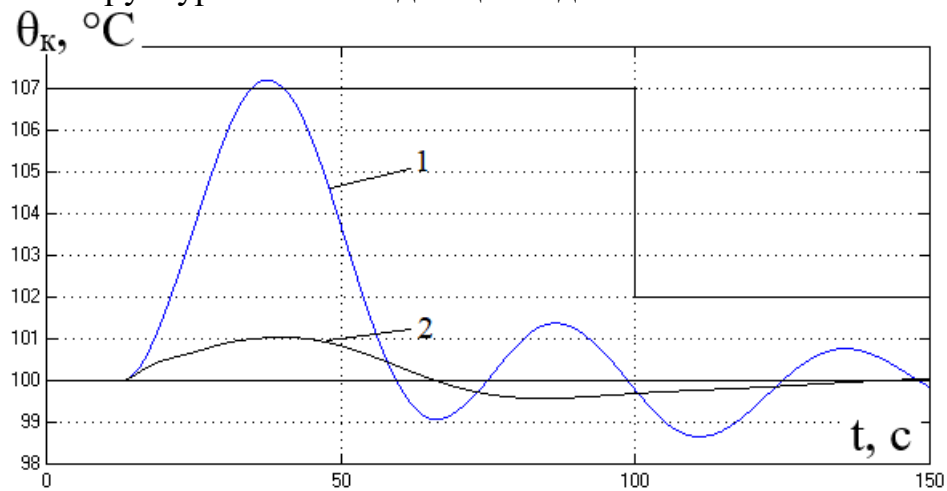


Рис. 3.30 – Перехідні процеси в САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності.

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

Структура САР	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta\theta_k^{\text{MAX}}$	$T_{\text{пп}}, \text{c}$	
Базова	107,2	53,78	1074
Підвищеної динамічної точності	101	0	34,01

Дослідження варіантів САР показали, що як САР базова структура, так і САР з підвищеною динамічною точністю є грубими.

### **3.10 Висновки за розділом:**

В результаті виконання цього розділу була проведена ідентифікація процесу копчення риби. Були ідентифіковані канали управління та перехресні канали, в результаті чого було з'ясовано, що всі вищезгадані канали володіють статичним властивостями, тобто властивостями самовирівнювання. Це пов'язано з тим, що протікають процеси, які за своєю природою мають такі властивості. При складанні структурних схем моделювання та їх реалізації були отримані результати (перехідні характеристики), які достатньо точно відтворюють експериментальні дані, що свідчить про правильність проведення процедури ідентифікації моделей каналів об'єкту регулювання.

## 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним процесом копчення риби

### 4.1 Конкретизація задачі логічного керування технологічним процесом копчення риби.

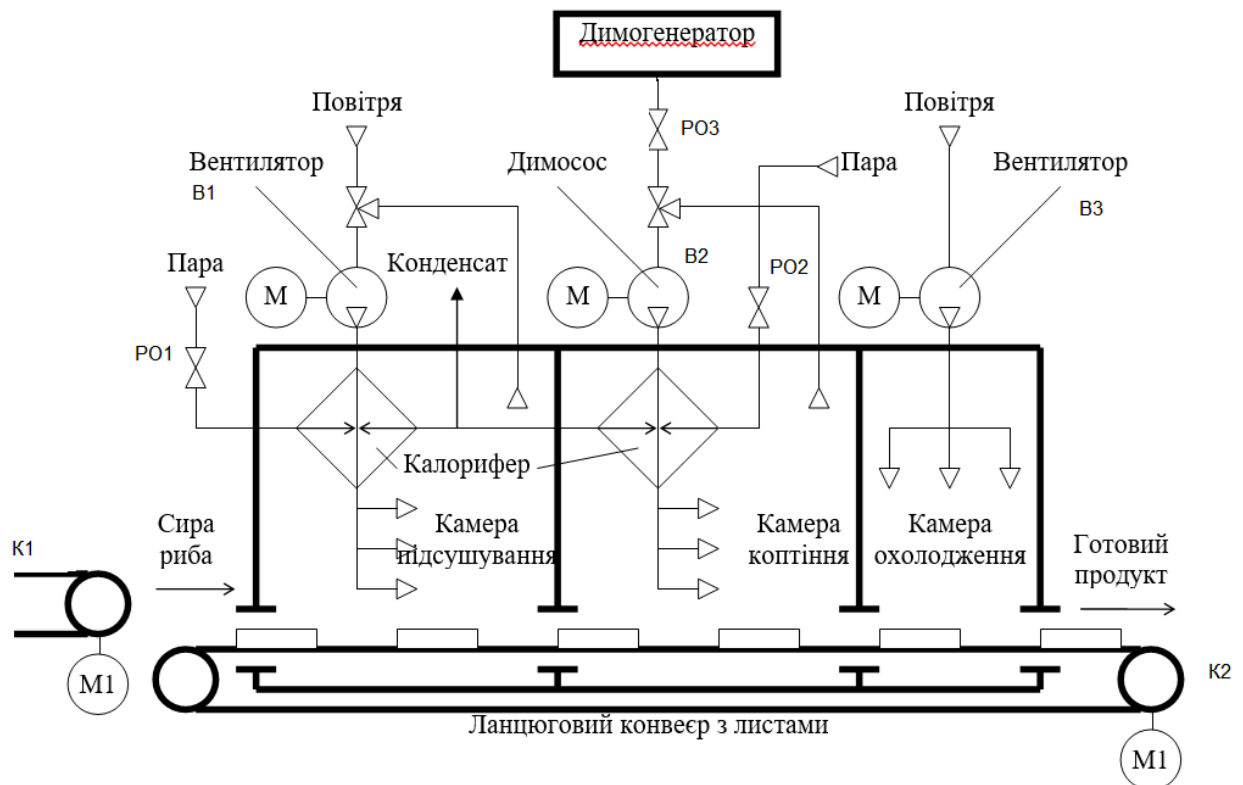


Рис. 4.1 – Технологічна схема процесу копчення риби

Коптильна піч безперервної дії має камери підсушування, копчення та охолодження, через які за допомогою замкнутого тягового ланцюга з електричним приводом М1 переміщуються листи з рибою. Риба після завантаження в листи надходить до камери підсушування, де при температурі від 40 до 80 °С підсушується, потім переходить у камеру коптіння, у якій при температурі від 90 до 110 °С проварюється і коптиться. У камері охолодження риба охолоджується повітрям з виробничого приміщення. Після охолодження готовий продукт виходить з печі, де його укладають у тару.

Послідовність пуску коптільної печі в роботу. Після перевірки умов, необхідних для пуску і передпускової звукової сигналізації слід забезпечити циркуляцію повітря в камерах підсушки та коптіння. Провентилювати камери. Надалі слід розігріти ці камери шляхом виведення їх на режим за температурою. Подати в піч рибу. Подати в камеру коптіння дим. Дочекатися надходження риби в камеру охолодження. Подати в камеру охолодження охолоджуюче повітря.

Послідовність технологічної зупинки коптільної печі. Припинити подачу риби в піч. Виробити продукт в камері підсушки. Припинити подачу пари до калорифера камери підсушки. Провентилювати камеру підсушки. Припинити циркуляцію повітря в камері підсушки. Виробити продукт в камері коптіння. Припинити подачу диму в камеру коптіння. Припинити нагрівання повітря в камері коптіння. Провентилювати камеру коптіння. Припинити циркуляцію повітря в камері коптіння. Виробити продукт в камері охолодження. Припинити рух риби в печі. Провентилювати камеру охолодження.

На Рис.4.2 наведено блок-схему регламенту коптільної печі за її пуском.

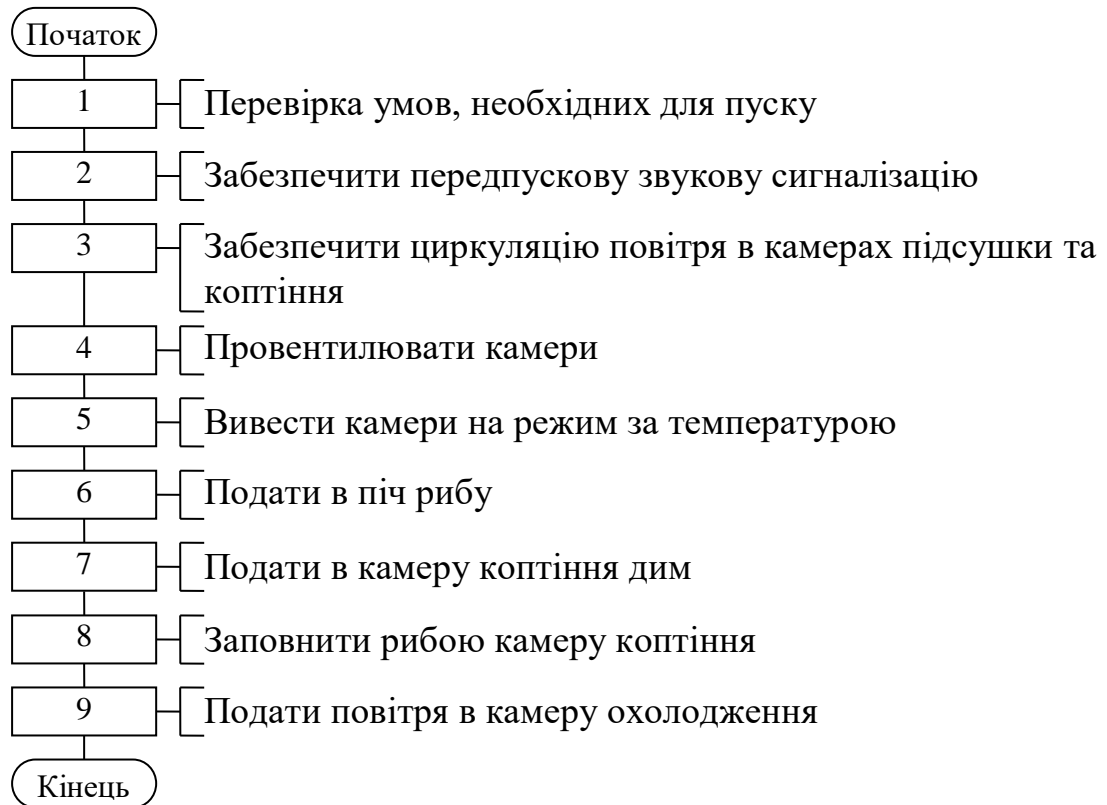


Рис. 4.2 – Блок-схема регламенту коптильної печі за її пуском.

Пуск коптильної печі: Процес стартує з ініціації коптильної печі.

Перевірка умов пуску:

Температура у камерах: Перевірка відповідності температур.

Наявність сировини: Переконавання у наявності достатньої кількості риби.

Стан обладнання: Перевірка справності обладнання.

Передпускова звукова сигналізація: Попереджувальний звуковий сигнал про початок процесу.

Запуск циркуляції повітря: Включення циркуляції повітря у камерах підсушування і копчення.

Провітрювання камер: Провітрювання камер для досягнення необхідної температури.

Розігрів камер: Розігрів камер підсушування і копчення до робочої температури.

Подача риби: Риба подається спочатку у камеру підсушування, потім у камеру копчення.

Подача диму: подача диму в камеру копчення для початку копчення.

Охолодження: Переміщення риби у камеру охолодження для зниження температури до потрібного рівня.

Вихідна точка: Завершення процесу, готовий продукт виходить з копильної печі.

На Рис. 4.3 наведено блок-схему регламенту на технологічну зупинку ділянки.

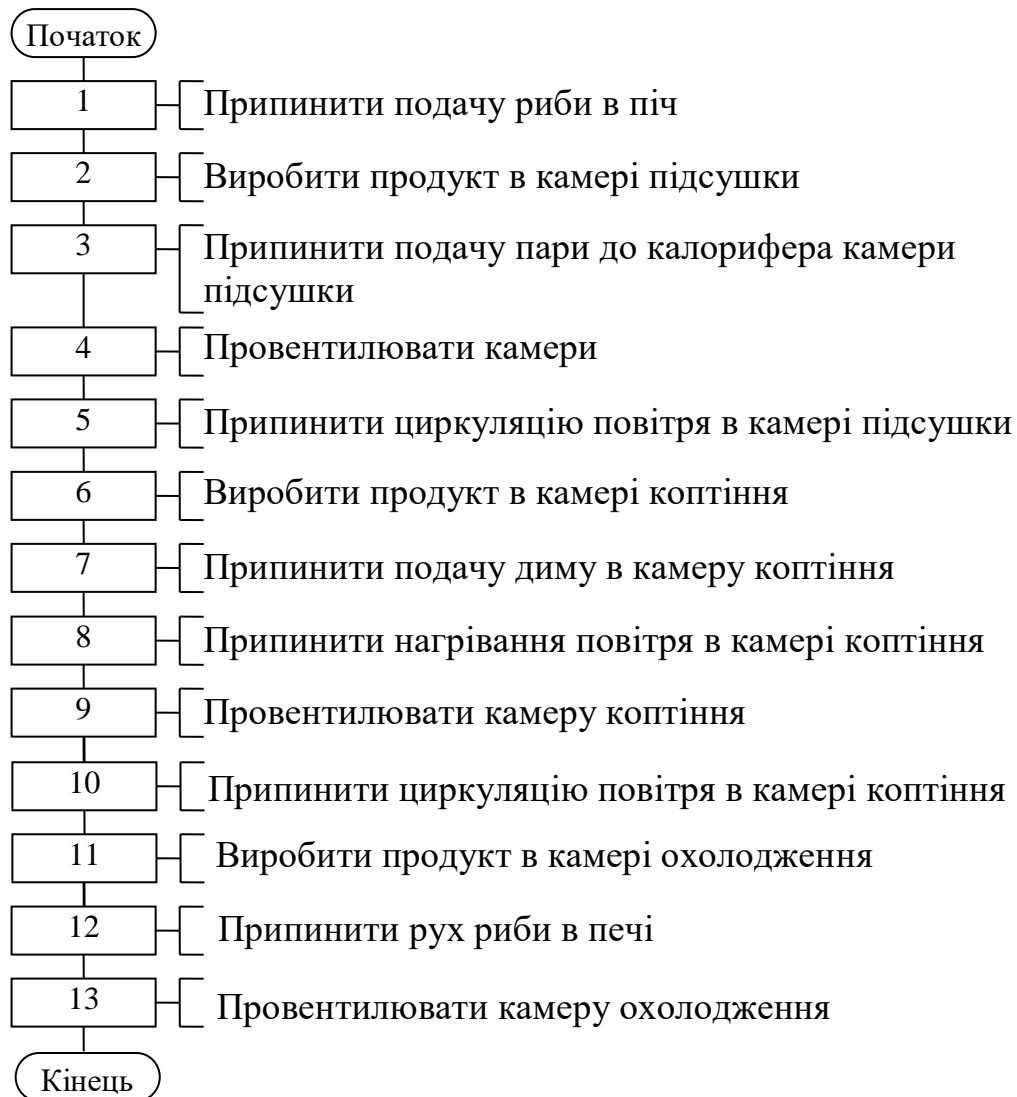


Рис. 4.3 – Блок-схема регламенту на технологічну зупинку ділянки.

Початок технологічної зупинки: Процес зупинки стартує з ініціації технологічної зупинки.

Зупинка подачі сировини: Припинення подачі риби у всі камери.

Очищення камер від залишків:

Камера підсушування: Видалення залишків риби з камери підсушування.

Камера копчення: Видалення залишків риби з камери копчення.

Камера охолодження: Видалення залишків риби з камери охолодження.

Зупинка циркуляції повітря: Відключення системи циркуляції повітря у всіх камерах.

Охолодження обладнання:

Камера підсушування: Зниження температури до безпечного рівня.

Камера копчення: Зниження температури до безпечного рівня.

Камера охолодження: Охолодження до необхідного рівня.

Провітрювання камер: Провітрювання всіх камер для видалення залишків диму і вологи.

Зупинка подачі енергоносіїв: Припинення подачі пари та інших енергоносіїв до камер.

Остаточне очищення та дезінфекція:

Камера підсушування: Повне очищення та дезінфекція.

Камера копчення: Повне очищення та дезінфекція.

Камера охолодження: Повне очищення та дезінфекція.

Перевірка стану обладнання: Огляд та перевірка всього обладнання для виявлення можливих несправностей або потреби у ремонті.

Завершення технологічної зупинки: Останній етап, що передбачає фіксацію всіх дій та завершення процесу зупинки ділянки.

На Рис.4.4 наведено Алгоритм автоматичного керування пуском ділянки в роботу.

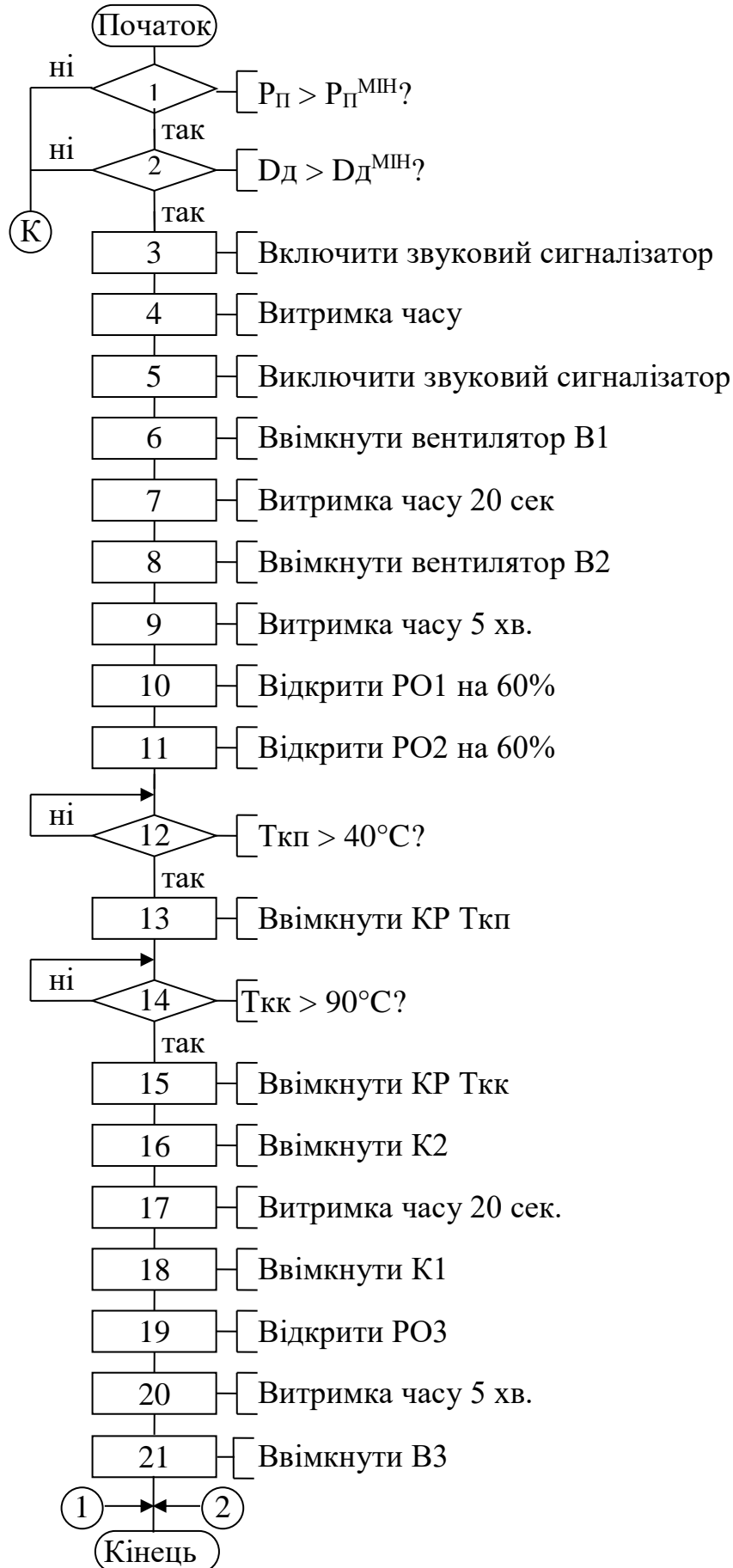


Рис. 4.4 – Алгоритм автоматичного керування пуском ділянки в роботу

Початок процесу пуску: Ініціація автоматичного запуску ділянки.

Перевірка початкових умов:

Температура у камерах: Перевірка, що температура відповідає необхідним параметрам.

Стан обладнання: Перевірка справності та готовності обладнання до роботи.

Наявність сировини: Переконавання у наявності достатньої кількості риби.

Включення системи циркуляції повітря:

Камера підсушування: Запуск циркуляції повітря у камері підсушування.

Камера копчення: Запуск циркуляції повітря у камері копчення.

Розігрів камер до робочої температури:

Камера підсушування: Нагрівання камери підсушування до необхідної температури.

Камера копчення: Нагрівання камери копчення до необхідної температури.

Провітрювання камер:

Камера підсушування: Провітрювання камери підсушування.

Камера копчення: Провітрювання камери копчення.

Подача риби у камери:

Камера підсушування: Автоматична подача риби у камеру підсушування.

Камера копчення: Після підсушування, риба автоматично переміщується у камеру копчення.

Подача диму у камеру копчення: Автоматичне включення подачі диму у камеру копчення для початку процесу копчення.

Контроль та регулювання параметрів:

Температура: Автоматичний контроль та регулювання температури у камерах.

Вологість: Автоматичний контроль та регулювання рівня вологості.

Тривалість процесу: Контроль тривалості процесів підсушування і копчення.

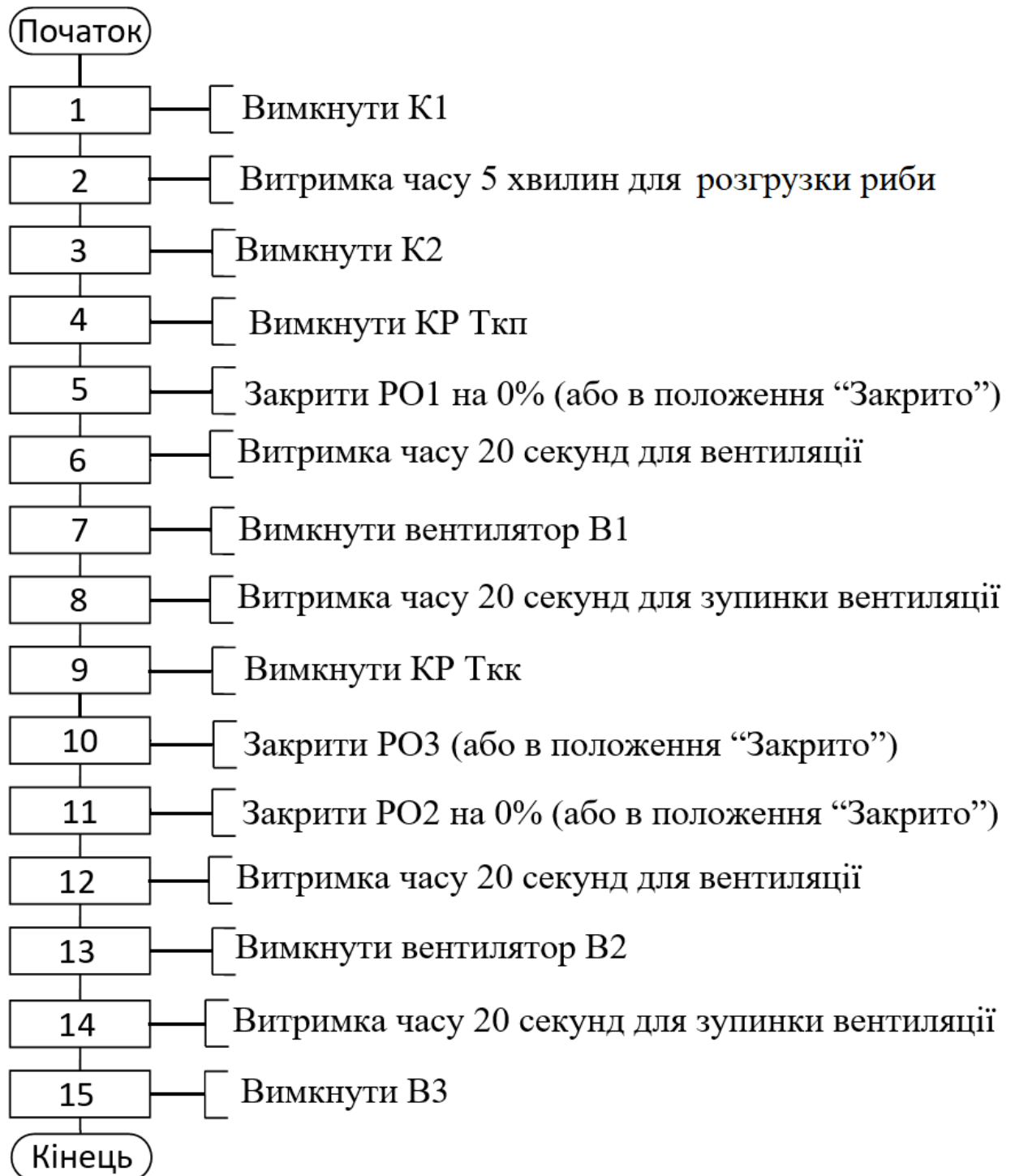
Охолодження готової продукції:

Переміщення у камеру охолодження: Автоматичне переміщення риби у камеру охолодження після копчення.

Охолодження риби: Автоматичний процес охолодження риби до необхідної температури.

Завершення процесу: Завершення автоматичного процесу запуску ділянки і перехід до нормального режиму роботи.

На Рис.4.5 наведено алгоритм автоматичного керування технологічної зупинки ділянк



Початок процесу зупинки: Ініціація автоматичного процесу зупинки ділянки.

Зупинка подачі сировини: Автоматичне припинення подачі риби у всі камери.

Зупинка подачі енергоносіїв: Припинення подачі пари та інших енергоносіїв до камер.

Очищення камер від залишків:

Камера підсушування: Автоматичне видалення залишків риби з камери підсушування.

Камера копчення: Автоматичне видалення залишків риби з камери копчення.

Камера охолодження: Автоматичне видалення залишків риби з камери охолодження.

Зупинка циркуляції повітря: Відключення системи циркуляції повітря у всіх камерах.

Охолодження обладнання:

Камера підсушування: Автоматичне зниження температури до безпечного рівня.

Камера копчення: Автоматичне зниження температури до безпечного рівня.

Камера охолодження: Охолодження до необхідного рівня.

Провітрювання камер: Автоматичне провітрювання всіх камер для видалення залишків диму і вологи.

Остаточне очищення та дезінфекція:

Камера підсушування: Повне очищення та дезінфекція.

Камера копчення: Повне очищення та дезінфекція.

Камера охолодження: Повне очищення та дезінфекція.

Перевірка стану обладнання: Огляд та перевірка всього обладнання для виявлення можливих несправностей або потреби у ремонті.

Завершення технологічної зупинки: Фіксація всіх дій та завершення автоматичного процесу зупинки ділянки.

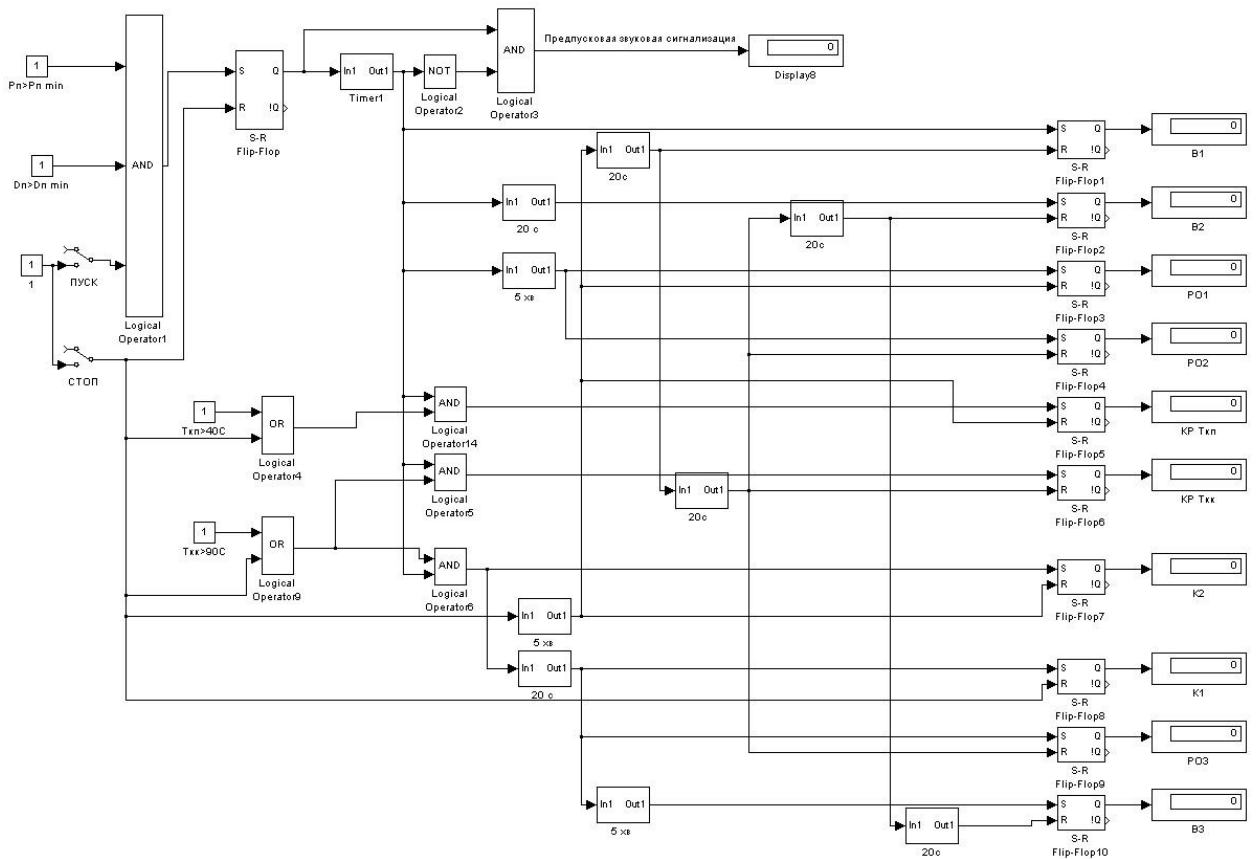


Рис. 4.6 – Імітаційне моделювання системи логічного керування

## 4.2 Висновки за розділом

В результаті виконання розділу для даної технологічної установки були складені регламенти функціонування та алгоритми пуску-зупинки системи керування копильної печі в штатному та аварійному режимах.

## **5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів**

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

Процес копчення риби здійснюється в коптильній печі, яка встановлена у окремому приміщенні, температура повітря в якому змінюється в діапазоні 20...30 °С, відносна вологість повітря змінюється в межах 60...80 %. Цей процес не є пожежовибухонебезпечним, оскільки в приміщенні не можуть виникнути фактори, які здатні викликати пожежу або вибух.

«Правила улаштування електроустановок» визначають:

#### 5 відкрита, або зовнішня, електроустановка

Електроустановка, не захищена будівлею від атмосферного впливу. Електроустановки, захищені тільки навісами, сітчастими огорожами тощо, розглядають як зовнішні.

#### 6 сухе приміщення

Приміщення, в якому відносна вологість повітря не перевищує 60 %. За відсутності в такому приміщенні умов, наведених у 10–12, воно називається нормальним.

#### 7 вологе приміщення

Приміщення, в якому відносна вологість повітря є більше ніж 60 %, але не перевищує 75 %.

#### 8 сире приміщення

Приміщення, в якому відносна вологість повітря тривалий час перевищує 75 %.

#### 9 особливо сире приміщення

Приміщення, в якому відносна вологість повітря наближена до 100 % (стеля, стіни, підлога і предмети, що є в приміщенні, покриті вологою).

#### 10 жарке приміщення

Приміщення, в якому під впливом різних теплових випромінювань температура перевищує постійно або періодично (понад 1 добу) + 35 °С (наприклад, приміщення із сушарками, сушильними і випалювальними печами, котельні тощо).

#### 11 запилене приміщення

Приміщення, в якому за умовами виробництва виділяється технологічний пил у такій кількості, що він може осідати на проводах, проникати всередину машин, апаратів тощо. Запилені приміщення поділяються на приміщення зі струмопровідним пилом і приміщення з неструмопровідним пилом.

#### 12 приміщення з хімічно активним або органічним середовищем

Приміщення, в якому постійно або протягом тривалого часу є присутніми агресивні пари, гази, рідини, утворюються відкладення або цвіль, що руйнують ізоляцію і струмопровідні частини електроустаткування.

Щодо небезпеки ураження людей електричним струмом розрізняють:

а) приміщення без підвищеної небезпеки, в яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку (див. підпункти б), в);

б) приміщення з підвищеною небезпекою, які характеризуються наявністю в них

однієї з умов, що створює підвищену небезпеку:

- 1) вологості або струмопровідного пилу (див. 8 і 11);
- 2) струмопровідної підлоги (металева, земляна, залізобетонна, цегляна тощо);
- 3) високої температури (див. 10);
- 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 (див. 9);
- 2) хімічно активного або органічного середовища(див. 12);
- 3) одночасно двох або більше умов підвищеної небезпеки

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

«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  $+61^{\circ}\text{C}$ .

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

Пожежонебезпечна зона класу П-IIa — простір у приміщенні, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.

Пожежонебезпечна зона класу П-III — простір поза приміщенням, в якому знаходяться горюча рідина, яка має температуру спалахнення понад  $+61^{\circ}\text{C}$  або тверді горючі речовини.

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де встановлена коптильна піч, слід віднести до пожежонебезпечної зони класу П-II.

«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 та мінімальний ступінь захисту оболонок електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів у залежності від класу пожежонебезпечної зони (табл. 5.1, 5.2).

Табл. 5.1 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-IIIa	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

Табл. 5.2 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-IIIa	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

Для приміщення, де встановлена коптильна піч, слід вибрати мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин, електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів не менше IP54.

Датчики температури повітря встановлені в коптильна піч. Датчик тиску пари встановлений на трубопроводі подачі гріючої пари. Виконавчі механізми разом з регулюючими клапанами зміни витрат гріючої пари встановлені встановлений на трубопроводі подачі пари.

На обслуговуючий персонал діють такі шкідливі чинники, як шум та підвищена температура. Тому АРМ оператора-технолога вноситься в окреме приміщення, в яке зводиться вся необхідна інформація про стан технологічних параметрів. Обладнання системи керування та панель оператора-технолога

знаходиться в шафі із ступенем захисту IP 54. В системі передбачена можливість місцевого та дистанційного керування технологічним обладнанням.

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

В ході технологічно процесу коптіння риби використовуються наступні технічні засоби:

Для виміру температури гарячого та димо-повітряної суміші із діапазону 20...120 °С застосований датчик температури ТЕРА (ТСП гр.100П).

Чутливі елементи обох датчиків температури встановлюються в повітропроводах.


	<p>Технічні характеристики:          Тип и НСХ: ТСМ (100П);          Кількість ЧЕ: 2;          Клас допуску: В;          Схема з'єднання: 2-проводна;          Різьбове з'єднання: М20х1,5;          Матеріал захисної арматури: сталь 12Х18Н10Т;          Діапазон температури: -50....250 °С;          Ступінь захисту: IP54 (до 120 °С).          Ступінь вибухозахисту – 0ExiaІІВТ6</p>
а)	б)

Рис.- 5.1. Датчик температури Тера а) зовнішній вигляд;

б) технічні характеристики

Нормуючий вимірювальний перетворювач ПСТ (0/150) – 100П

Для перетворення опору датчика в уніфікований сигнал 4-20мА вибраний нормуючий пристрій ПСТ (0/150) -100П. Він встановлюється безпосередньо в корпусі датчика температури.


	<p>Технічні характеристики:          Тип ПСТ (0/150) - 100П;          Схема з'єднання: 2-проводна;          Діапазон уніфікованого вихідного сигналу постійного струму : 4...20 мА          Споживана потужність, не більше: 0,8 Вт;          Умови експлуатації : - 30 ... + 50 °С,          вологість 95% при 35 °С</p>
а)	б)

Рис.5.2.- Нормуючий вимірювальний перетворювач а) зовнішній вигляд;  
 б) технічні характеристики

Для виміру тиску грючої пари із діапазону 0...10 бар застосований датчик тиску VEGABAR 18 з двопровідною системою підключення 4..20 мА. Його зовнішній вигляд і технічні характеристики наведені на рисунку 5.3.


	<p><b>Вихідна величина - Двопровідна система 4 ... 20 мА</b></p> <table border="1"> <tr> <td>Вихідний сигнал</td> <td>4 ... 20 мА - пасивно</td> </tr> <tr> <td>Техніка під'єднання</td> <td>Двопровідна система</td> </tr> <tr> <td>Діапазон вихідного сигналу</td> <td>3,8 ... 20,5 мА</td> </tr> </table> <p><b>Живлення</b></p> <table border="1"> <tr> <td>Робоча напруга <math>U_B</math></td> <td>12 ... 35 V DC</td> </tr> <tr> <td>Захист проти інверсії полярності</td> <td>Вбудований</td> </tr> </table>	Вихідний сигнал	4 ... 20 мА - пасивно	Техніка під'єднання	Двопровідна система	Діапазон вихідного сигналу	3,8 ... 20,5 мА	Робоча напруга $U_B$	12 ... 35 V DC	Захист проти інверсії полярності	Вбудований
Вихідний сигнал	4 ... 20 мА - пасивно										
Техніка під'єднання	Двопровідна система										
Діапазон вихідного сигналу	3,8 ... 20,5 мА										
Робоча напруга $U_B$	12 ... 35 V DC										
Захист проти інверсії полярності	Вбудований										
б)	в)										

Рис. 5.3. – Датчик мікрохвильовий Hydro-Mix ХТ: а) схема встановлення;  
 б) зовнішній вигляд; в) технічні характеристики

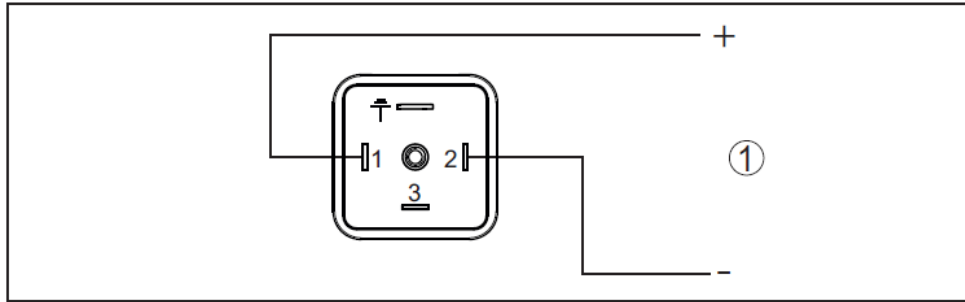


Рис. 5.4 Схема під'єднання зі штепселем ISO4400<sup>^</sup>

1 – живлення, вихід сигналу +; 2 – живлення вихід сигналу -.

### 5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу

Для регулювання витрат гріючої пари застосований 2-ходовий седільний клапан H6032X16-S2 Belimo. Його зовнішній вигляд і технічні характеристики приведені на рис. 5.5


	Среда	Горячая вода (высокая температура), низкотемпературный пар (содержание гликоля макс 50%)
	Температура среды	+5...+150 °С
	Разрешенное давление Ps	2500 кПа до 120 °С 2430 кПа до 150 °С
	Характеристика потока	Регулирующий канал А—АВ: равнопроцентная
	Уровень утечки	Регулирующий канал А—АВ, макс. 0,05% от величины Kvs
	Трубное присоединение	Фланцы
	Шток	См. «Обзор типов»
Kvs=16 куб.м/год; DN=40 мм		
а)	б)	

Рис. 5.5. – седільний клапан H6032X16-S2 Belimo:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

В якості приводу для клапану використаний електропривід BELIMO LV24A-SR-TPC, степінь захисту корпусу IP54.


	<b>Функциональные данные</b>	
	Действующее усилие	500 Н
	Управляющий сигнал Y	0...10 В= (при вход. сопротивлении 100 кОм)
	Рабочий диапазон	2...10 В=   0,5...10 В=
	Сигнал обратной связи U	2...10 В= при макс 0,5мА   0,5...10 В= при макс 0,5мА
	Точность позиционирования	± 5%
	Ручное управление	Вывод из зацепления зубчатого редуктора с помощью кнопки, возможно постоянное
	Ход штока	15 мм
	Время срабатывания	150 с / 15 мм
	а)	б)

Рис. 5.6. – Электропривод BELIMO BELIMO LV24A-SR-TPC:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

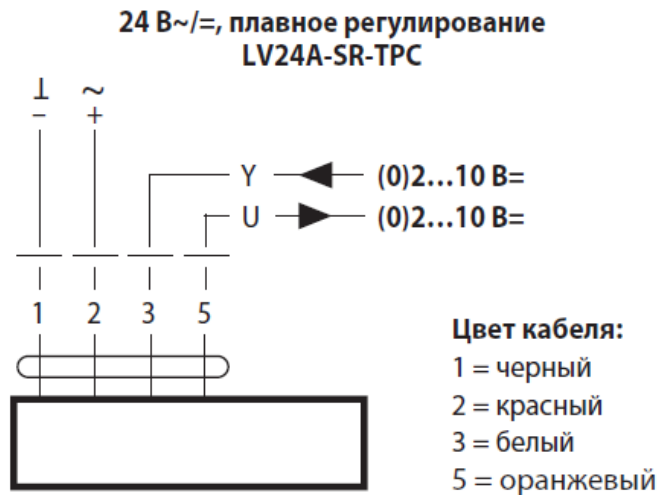


Рис. 5.7 Схема електричних підключень електроприводу BELIMO LV24A-SR-TPC

Для прямого пуску та зупинки електроприводів коптильної печі обрані наступні технічні засоби.

Для електроприводу потужністю 5.5 кВт застосований автоматичний вимикач захисту двигуна SIEMENS SIRIUS 3RV2021-1KA10, діапазон регульованої теплової уставки 9.0 ... 12.5 А, номінальна потужність 5.5 кВт/400В, струм миттєвого спрацювання 163.0 А, номінальний струм 12.5 А, гарантований струм розчеплення при к.з 100кА / 400 В., типорозмір S0, пускова перевантажувальна характеристика CLASS 10.

Контактор Siemens 3RT2017-1AP1-0CC0, для комутації електродвигунів, 3-полюсний, АС-3, потужність двигуна 5,5кВт/400В, Іном. 12 А, з блок-контактом 1НВ, номінальна напруга управління АС 230 В, типорозмір S00, номінальний струм основного контакту 12 А, з можливістю комунікації, гвинтові клеми.

Проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24В DC, 6А, LED (RXM4AB2BDPVS) служить для розмноження сигналів та гальванічного розподілу.

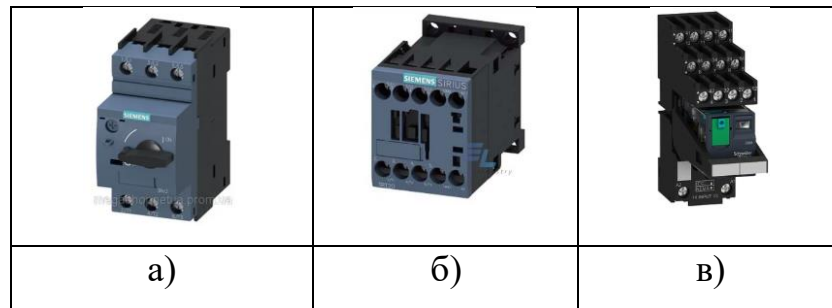


Рис. 5. 8Зовнішній вигляд:

- а) автоматичного вимикача 3RV2021-1KA10;
- б) контактора 3RT2017-1BB41-0CC0
- в) проміжного реле Schneider Electric RXM4AB2BDPVS

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

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

Табл. 5.3 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 повітря підсушки	A	I	0...20 mA DC
2	Температура димо-повітряної суміші	A	I	0...20 mA DC
3	Тиск грюючої пари	A	I	0...20 mA DC
4	Сигнал стану авт.вимикача M1	D	I	24 V DC
5	Сигнал стану контактора M1	D	I	24 V DC
6	Сигнал перемикача режиму M1	D	I	24 V DC
7	Сигнал стану кнопки АвСтоп M1	D	I	24 V DC
8	Сигнал стану авт.вимикача M2	D	I	24 V DC
9	Сигнал стану контактора M2	D	I	24 V DC
10	Сигнал перемикача режиму M2	D	I	24 V DC
11	Сигнал стану авт.вимикача M3	D	I	24 V DC
12	Сигнал стану контактора M3	D	I	24 V DC
13	Сигнал перемикача режиму M3	D	I	24 V DC
14	Сигнал стану авт.вимикача M4	D	I	24 V DC
15	Сигнал стану контактора M4	D	I	24 V DC
16	Сигнал перемикача режиму M4	D	I	24 V DC
17	Сигнал керування M1	D	O	24 V DC
18	Сигнал керування M2	D	O	24 V DC
19	Сигнал керування M3	D	O	24 V DC
20	Сигнал керування M4	D	O	24 V DC
21	Сигнал керування звук.сигн.	D	O	24 V DC
22	Сигнал керування виконавчим механізмом подачі пари в камеру підсушки	A	O	0...10 V DC
23	Сигнал керування виконавчим механізмом подачі пари в камеру копіння	A	O	0...10 V DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:

AI – 3, AO – 2, DI – 13, DO – 5

В системі автоматизації ПЛК та допоміжне устаткування розташовуються в одному приміщенні компактно, тому виберемо централізовану схему розміщення модулів системи керування.

Систему керування ПВК будемо розробляти на базі контролера S7-1500 фірми Siemens. Враховуючи, що центральний процесор і модулі системи мають виконання IP20, доцільно розмістити їх у настінній шафі зі ступенем

захисту не менш IP54 в окремому від технологічного устаткування приміщенні.

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

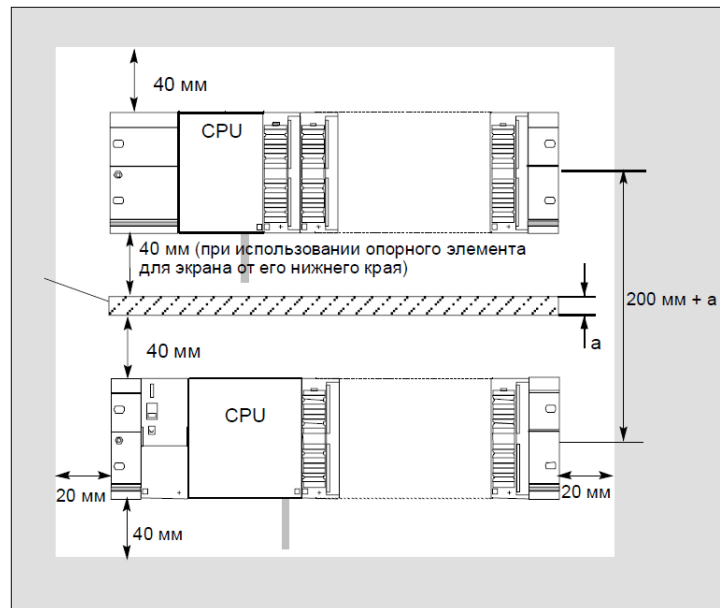


Рис. 5.9 Зазори при встановленні S7-1500 у шафі

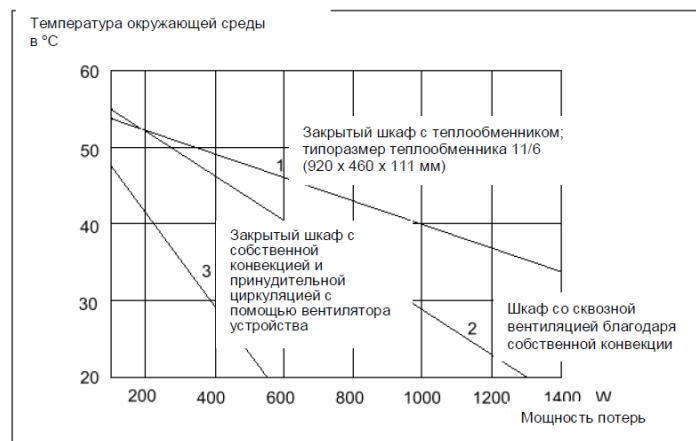


Рис. 5.10 Діаграма припустимих потужностей розсіювання

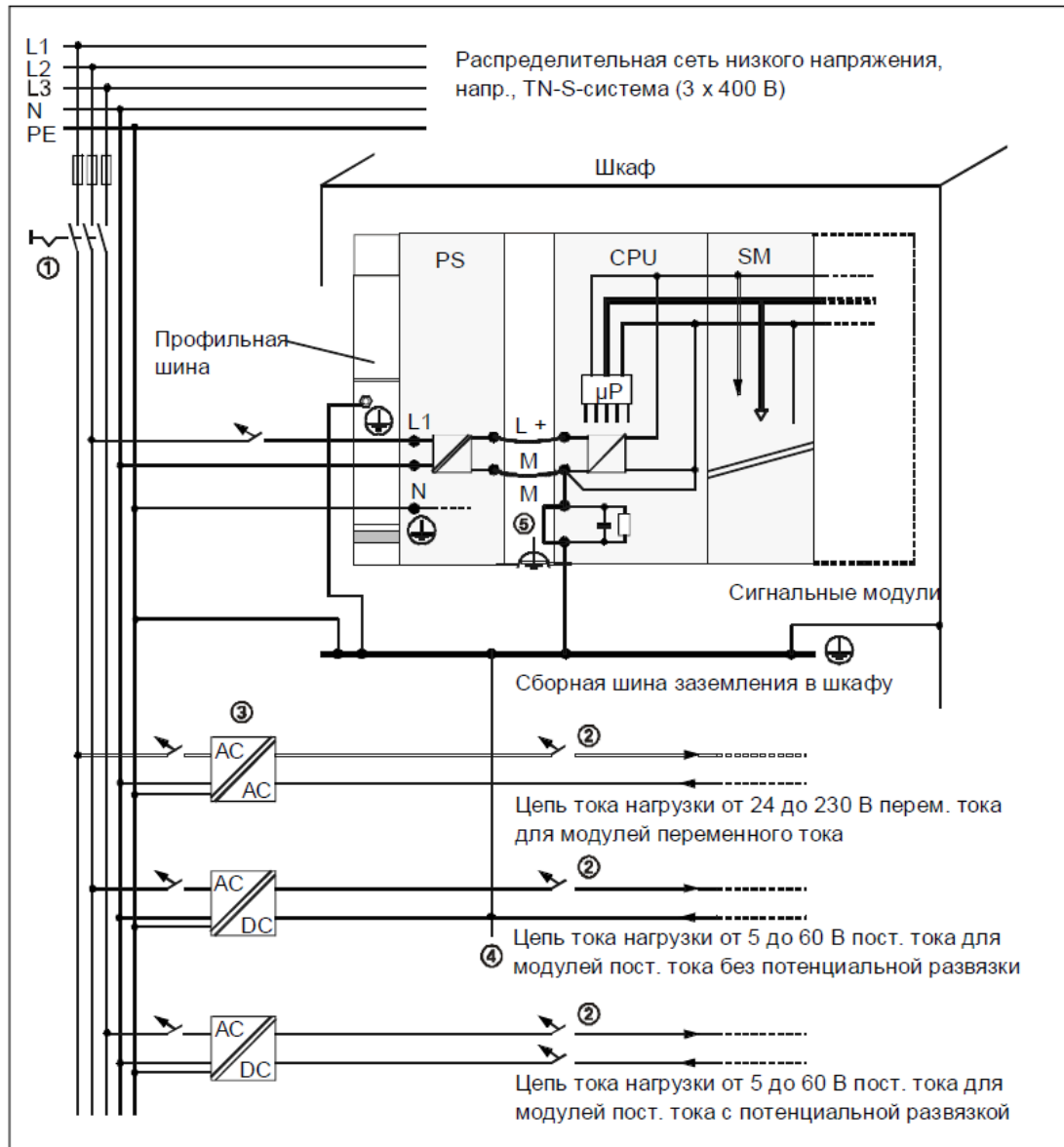
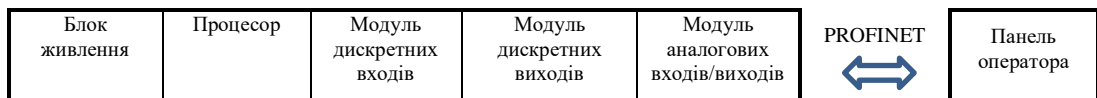


Рис. 5.11 Схема заземлення в шафі

Приміщення цеху опалювальне, що дозволяє використовувати модулі звичайного виконання, а не з розширеним температурним діапазоном, які дорожче.

Враховуючи список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролеру, схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування приймає наступний вигляд (рис. 5.12).



PS 60W 24/48/60VDC (6ES7505- 0RA00- 0AB0)	CPU 1513 1 PN/DP (6ES7 513- 1AL02- 0AB0)	DI 16x24VDC BA 6ES7 521-1BH10- 0AA0	DQ 16x24VDC/0.5A BA 6ES7 522- 1BH10-0AA0	AI/AO 4xU/I/ 6ES7 534- 7QE00-0AB0	TP1900 Comfort 6VA2 124 OUC02- 0AX1
---	--	---	---	--	---

Рис. 5.12 Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування

Центральний процесор CPU 1513 1 PN без вбудованих каналів вводу-виводу, орієнтований на рішення стандартних завдань автоматичного керування. Дозволяє використовувати в системі локального вводу-виводу весь спектр сигнальних, технологічних та комунікаційних модулів S7-1500.



Центральный процессор	CPU 1511-1 PN	CPU 1513-1 PN
Встроенная рабочая память: • для программы • для данных Загрузочная память Время выполнения: • логических операций • операций со словами • математических операций: - с фиксированной точкой - с плавающей точкой Встроенные интерфейсы: • PROFINET IO IRT	 150 Кбайт 1 Мбайт Съёмная карта памяти SIMATIC Memory Card емкостью до 32 Гбайт 60 нс 72 нс 96 нс 384 нс 1 с встроенным 2-канальным коммутатором, 2x RJ45, 10/100 Мбит/с	 300 Кбайт 1.5 Мбайт 40 нс 48 нс 64 нс 256 нс

Рис. 5.13 Технічні дані CPU

Для вводу дискретних сигналів обраний модуль DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0)

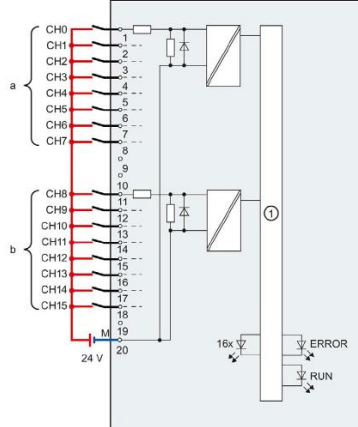
<b>Дискретные входы</b> Количество входов Количество групп входов Активный уровень входного сигнала Входная характеристика по IEC 61131: • типа 1 • типа 3 Входное напряжение: • номинальное значение • сигнала низкого уровня • сигнала высокого уровня Входной ток сигнала высокого уровня, типовое значение Задержка распространения входного сигнала при номинальном входном напряжении: • для стандартных входов - настройка • для входов аппаратных прерываний - настройка Длина кабеля, не более: • экранированный кабель • обычный кабель	16 1 Высокий (P) Нет Есть =24 В +5 ... -30 В +11 ... +30 В 2.5 мА 0.05/ 0.1/ 0.4/ 1.6/ 3.2/ 12.8/ 20 мс Есть Есть 1000 м 600 м	
--	--	--

Рис. 5.14 Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA

Для виводу дискретних сигналів обраний модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0)

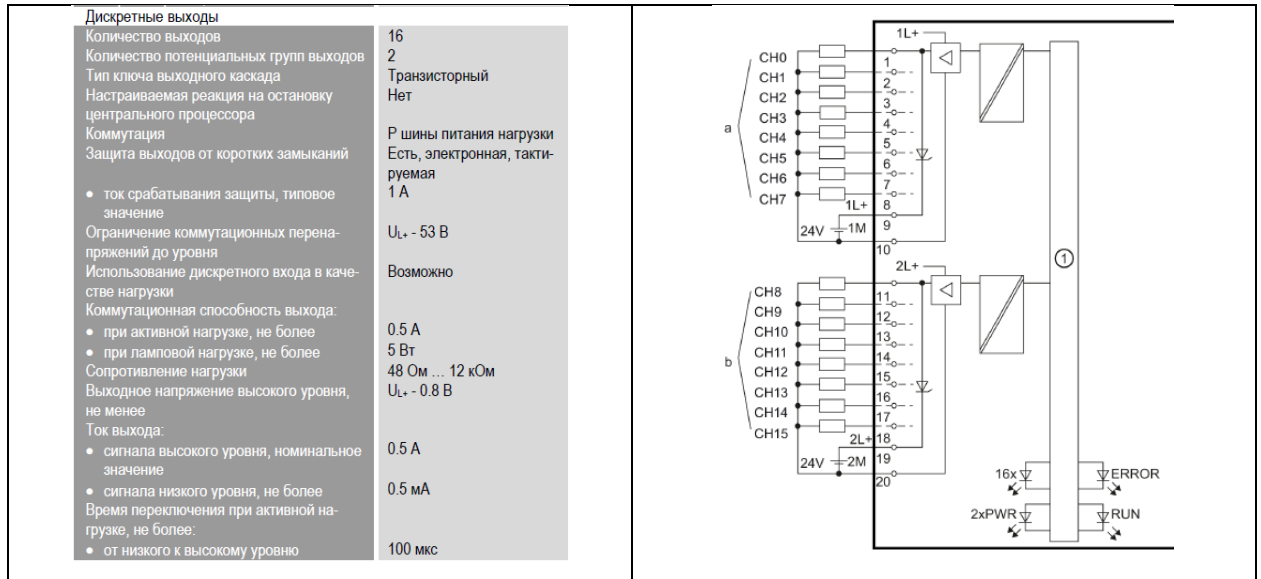


Рис. 5.15 Технічні характеристики та схема підключень

## DQ 16x24VDC/0.5A BA

Рекомендації щодо підключення дискретних сигналів. У тих випадках, коли від контакторів приходять сигнали  $\sim 220$  В змінного струму, то для їхнього перетворення в сигнали  $=24$  В постійного струму слід використовувати інтерфейсні реле, наприклад, фірми Relpol.

Для захисту вихідних ланцюгів модулів дискретного виходу від індуктивних перенапруг, які виникають при відключенні індуктивностей (катушок реле й контакторів), при монтажі слід керуватися наступними рекомендаціями:

## Схемы защиты для катушек, обтекаемых постоянным током

К катушкам, обтекаемым постоянным током, параллельно подключается, как показано на следующем рисунке, диод или стабилитрон.



Рис. 3-2. Схемы защиты для катушек, обтекаемых постоянным током

- ① с диодом  
② со стабилитроном

Схема с диодом/стабилитроном обладает следующими свойствами:

- Можно полностью избежать перенапряжений, связанных с отключениями. Стабилитрон допускает более высокое отключаемое напряжение.
  - Большая задержка отключения (в 6 – 10 раз больше, чем без защитной схемы).
- Схема со стабилитроном обеспечивает более быстрое отключение, чем схема с диодом.

**Схемы защиты для катушек, обтекаемых переменным током**

К катушкам, обтекаемым переменным током, параллельно подключается, как показано на следующем рисунке, варистор или RC-цепочка.

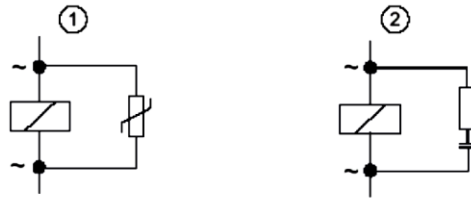


Рис. 3-3. Схемы защиты для катушек, обтекаемых переменным током

- ① с варистором
- ② с RC-цепочкой

Схема с варистором обладает следующими свойствами:

- Амплитуда перенапряжения, возникающего при отключении, ограничивается, но не демпфируется.
- Крутизна перенапряжения остается той же самой.
- Задержка отключения незначительна.

Схема с RC-цепочкой обладает следующими свойствами:

- Уменьшаются амплитуда и крутизна напряжения, возникающего при отключении.
- Задержка отключения незначительна.

Рис. 5.16 - Рекомендації Siemens при підключенні дискретних виходів

Для вводу/выводу аналоговых сигналов обраный модуль AI 4xU/I AQ 2x4xU/I (6ES7534-7QE00-0AB0).

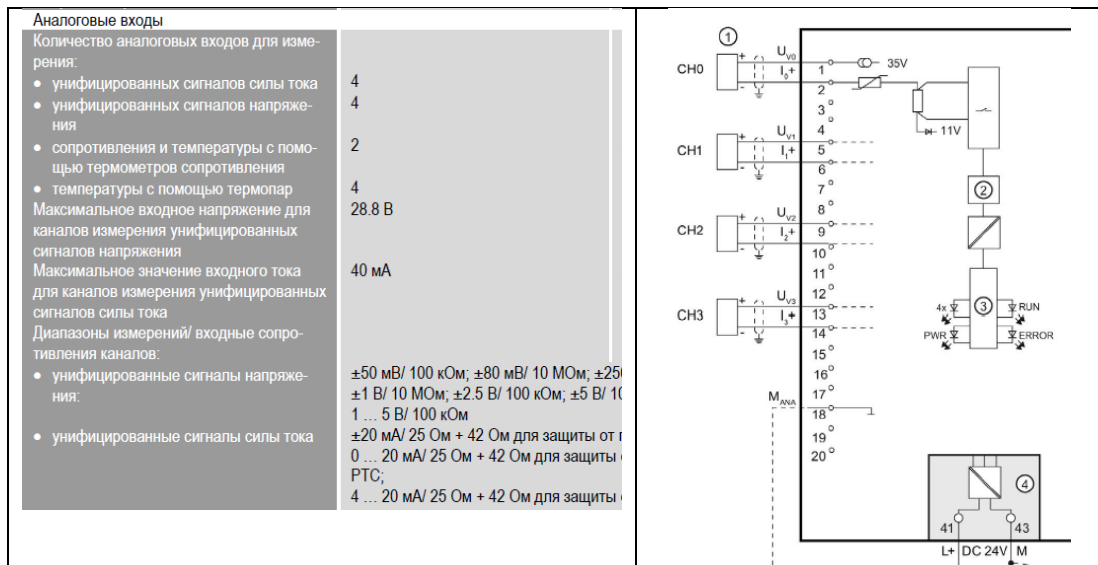


Рис. 5.17 Технічні характеристики та схема підключень датчиків силы струму до входів 6ES7534-7QE00-0AB0

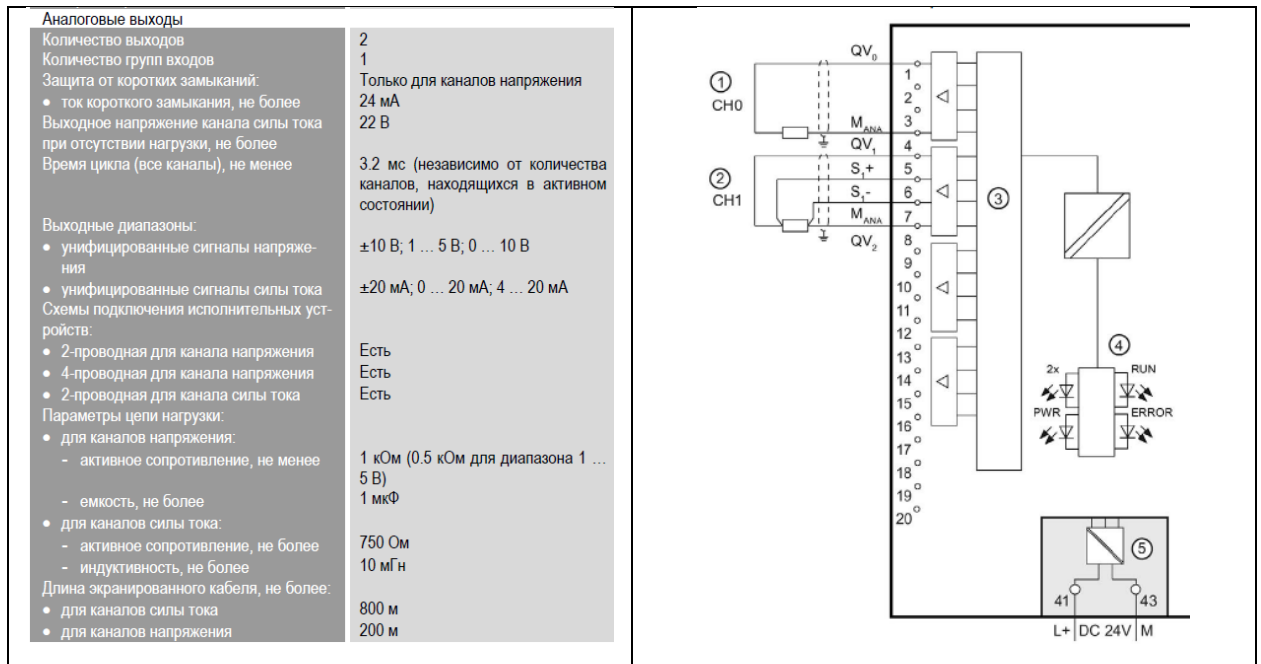


Рис. 5.18 Технічні характеристики та схема формування  
уніфікованої напруги на виходах 6ES7534-7QE00-0AB0

### Висновки за розділом

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

## 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК

### 6.1 Програмне конфігурування контролера

У середовищі TIA Portal створюємо проект і додаємо до його складу обрані контролер CPU 1513-1 PN та панель оператора TP1900 Comfort.

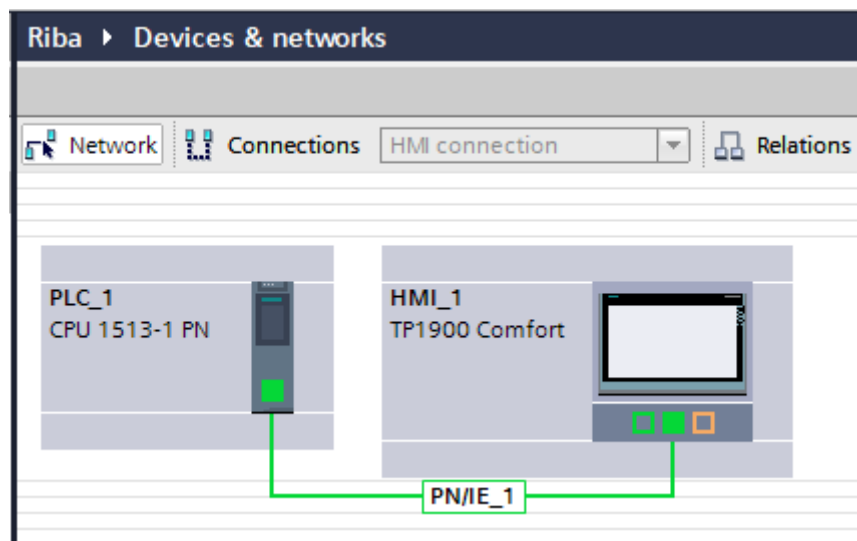


Рис. 6.1 Визначення складу технічних засобів проекту

Виконуємо конфігурування обраного контролера і модулів ПЗО. Для цього необхідні модулі вводу/виводу перетягуємо в поле редагування з бібліотеки, присвоюємо імена фізичним входам і виходам (рис. 6.2). Визначаємо у властивостях модулів вид сигналів та діапазони їх зміни (рис. 6.3).

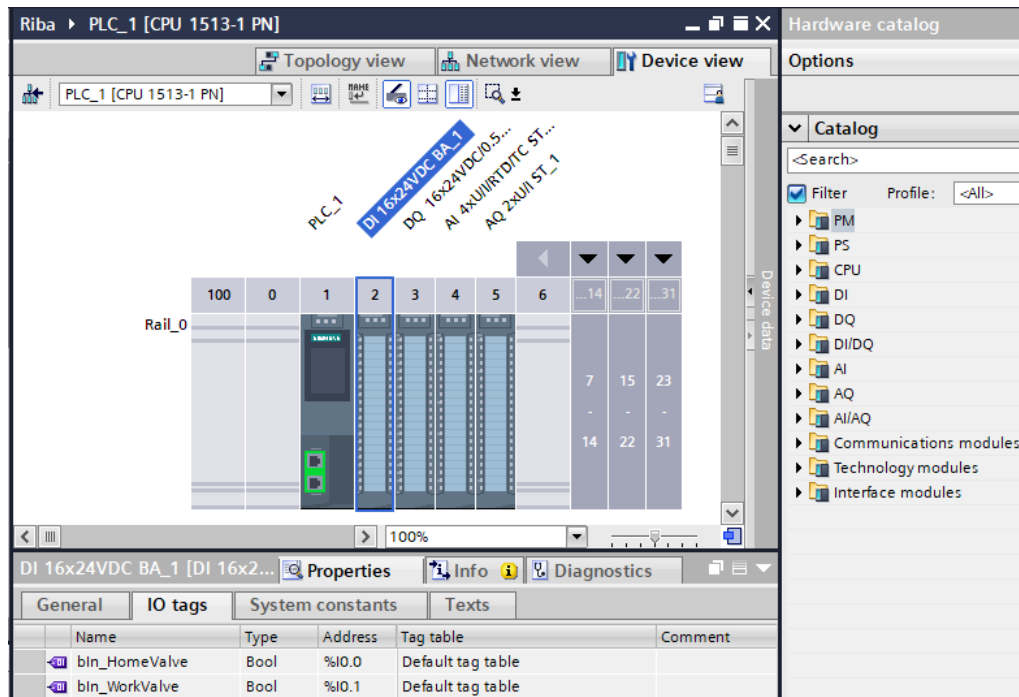


Рис. 6.2 Конфігурування контролера і модулів ПЗО

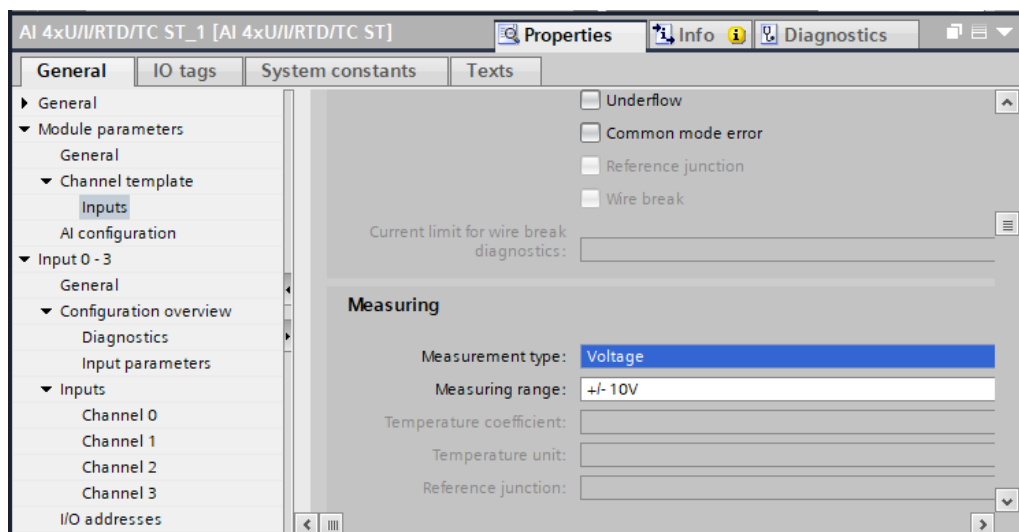


Рис. 6.3 Приклад визначення виду вхідного сигналу і діапазону його зміни

Остаточне визначення імен входів/виходів проводимо в таблиці тегів програми.

Riba ▶ PLC\_1 [CPU 1513-1 PN] ▶ PLC tags ▶ Default tag table

Default tag table

	Name	Data type	Address
15	bln_HomeValve	Bool	%IO.0
16	bln_WorkValve	Bool	%IO.1
17	bln_ForwardM2	Bool	%IO.2
18	bln_ForwardM3	Bool	%IO.3
19	bln_ForwardM4	Bool	%IO.4
20	bln_ForwardM1	Bool	%IO.5
21	Input7	Bool	%IO.6
22	Input8	Bool	%IO.7

Рис. 6.4 Приклад вікна таблиці тегів

## 6.2 Розробка програмного забезпечення

За допомогою миші перетягуємо в проект теги з бібліотеки SOL та необхідні функціональні блоки.

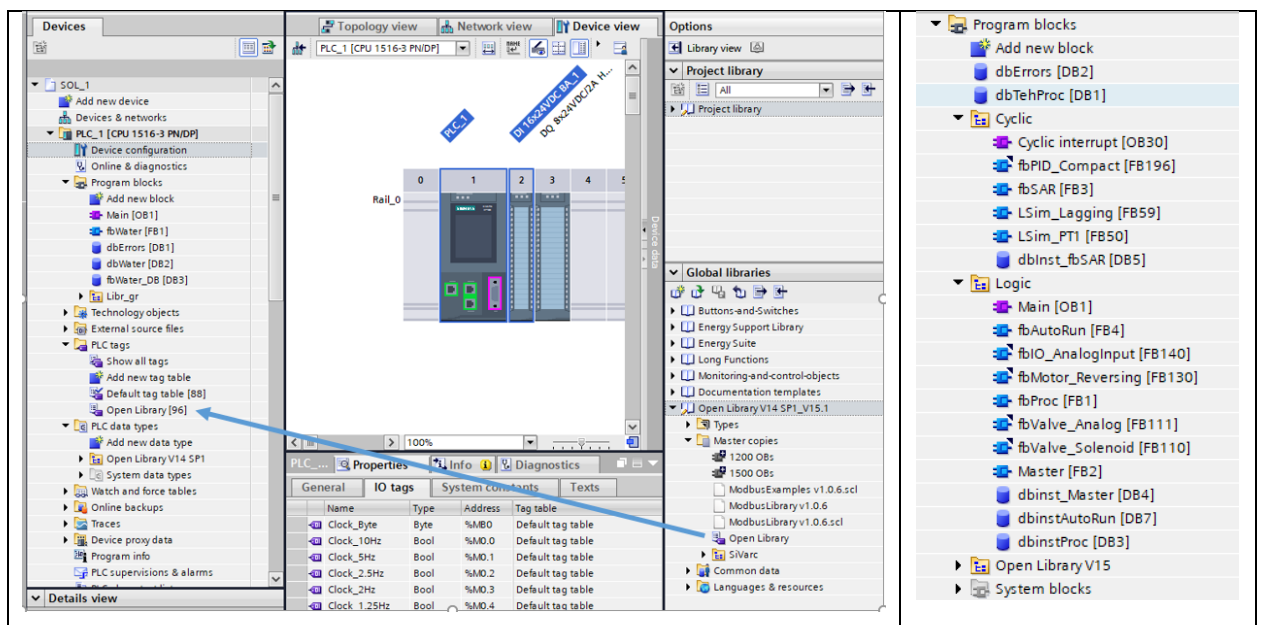


Рис. 6.5 Приклад додавання бібліотечних тегів та функціональних блоків

FB Motor, FB Valve\_Analog, FB Valve\_Solenoid

Використовуючи бібліотечні типи даних, створюємо два глобальних блоки даних

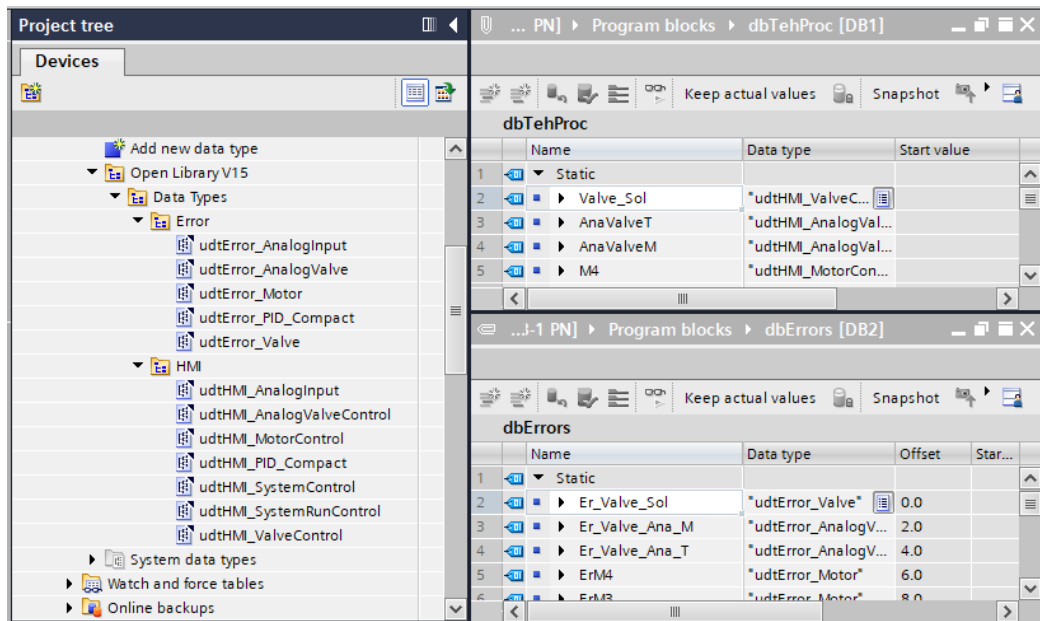
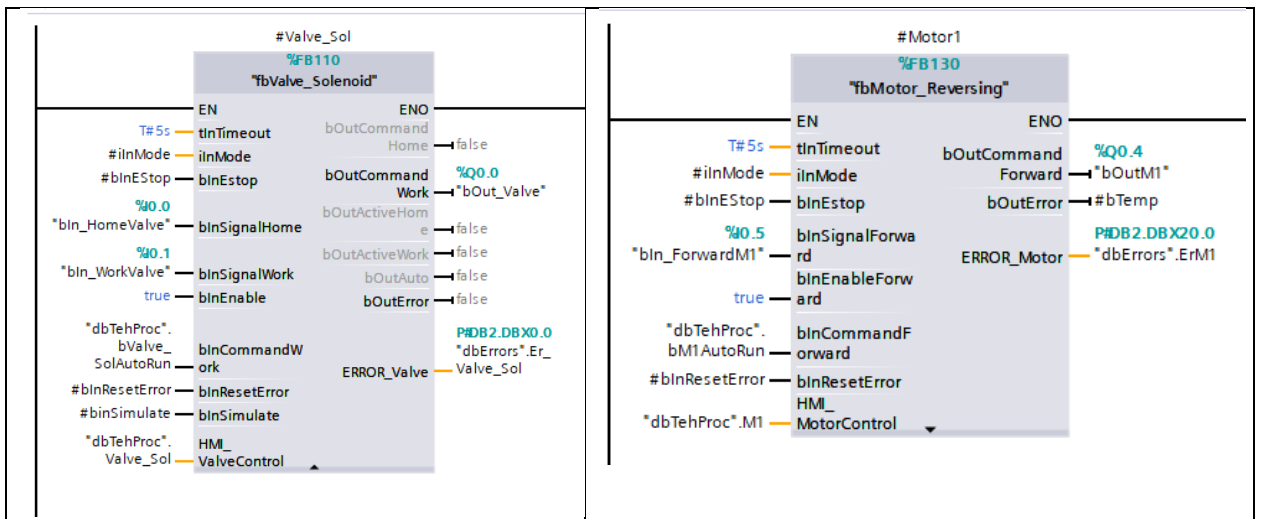


Рис. 6.6 Створення глобальних dbTehProc, dbErrors

Спочатку розробляємо підпрограму fbProc опитування стану обладнання, а саме відсічного клапана пари, електроприводів М1, М2, М3, М4.

fbProc			
	Name	Data type	Default value
1	Input		
2	inMode	Int	0
3	binEStop	Bool	false
4	binResetError	Bool	false
5	binSimulate	Bool	false
6	Output		
7	bOutAuto	Bool	false
8	bOutError	Bool	false
9	InOut		
10	<Add new>		
11	Static		
12	Valve_Sol	*fbValve_Solenoid*	
13	Motor2	*fbMotor_Reversing*	
14	Motor3	*fbMotor_Reversing*	
15	Motor4	*fbMotor_Reversing*	
16	Motor1	*fbMotor_Reversing*	
17	AnalValveT	*fbValve_Analog*	
18	AnalValveM	*fbValve_Analog*	
19	TE	*fbIO_AnalogInput*	
20	ME	*fbIO_AnalogInput*	
21	rOutAnaValveT	Real	0.0
22	rOutAnaValveM	Real	0.0
23	rinAnaValveT	Real	0.0
24	rinAnaValveM	Real	0.0
25	iTE	Int	0
26	iME	Int	0
27	wTeRez	Word	16#0
28	wMeRez	Word	16#0
29	wTE	Word	16#0
30	wME	Word	16#0
31	bUnipolar	Bool	false
32	bSimErr	Bool	false

Рис. 6.7 Интерфейс fbProc



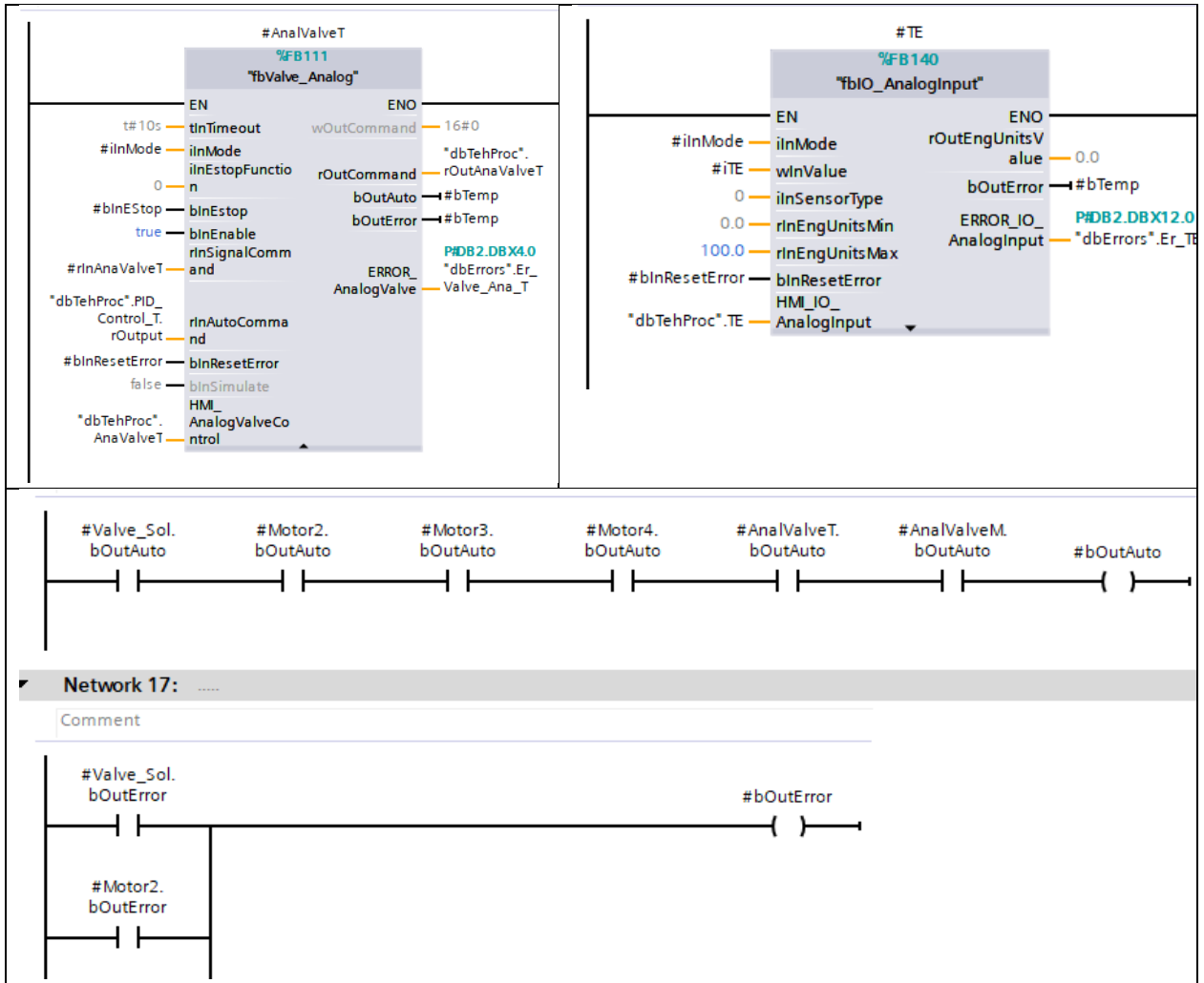


Рис. 6.8 Фрагменти підпрограми fbProc

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

fbAutoRun			
	Name	Data type	Default value
1	▼ Input		
2	■ bInEnableStart	Bool	false
3	■ bInNotError	Bool	false
4	▼ Output		
5	■ bOutAutoRun	Bool	false
6	▼ InOut		
7	■ <Add new>		
8	▼ Static		
9	■ bAutoRun	Bool	false
10	■ bAutoStop	Bool	false
11	■ bValve_Sol_AR	Bool	false
12	■ bM2_AR	Bool	false
13	■ bM3_AR	Bool	false
14	■ bM4_AR	Bool	false
15	■ bAnaValveT_AR	Bool	false
16	■ bAnaValveM_AR	Bool	false
17	■ bTE_AR	Bool	false
18	■ bME_AR	Bool	false
19	▶ Timer1	IEC_TIMER	
20	▶ Timer2	IEC_TIMER	
21	▶ Timer3	IEC_TIMER	
22	▶ Timer4	IEC_TIMER	
23	▶ Timer5	IEC_TIMER	
24	▶ Timer6	IEC_TIMER	

Рис. 6.9 Интерфейс fbAutoRun

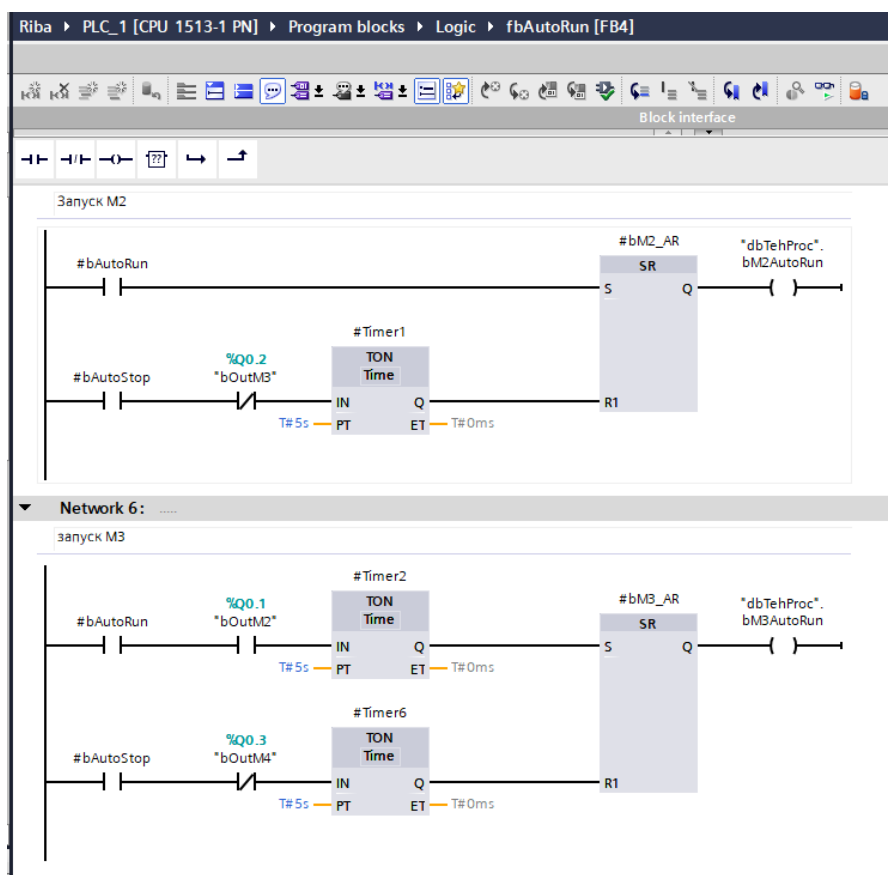


Рис. 6.10 Фрагмент програми fbAutoRun

Виклик на виконання підпрограм fbProc та fbAutoRun здійснюється в програмі Master.

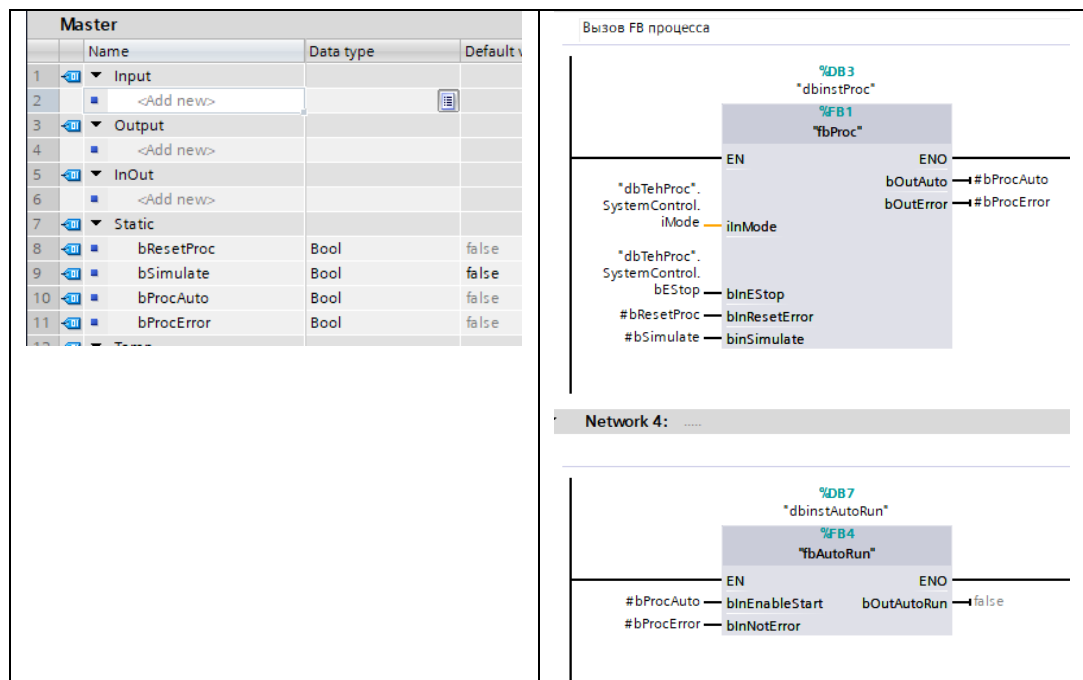


Рис. 6.11 Інтерфейс та текст програми Master

### 6.3 Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК

Модель САР реалізована у функціональному блоці FB5, розрахунок якого виконується кожну 0.1 сек в організаційному блоці OB35. Необхідність використання саме організаційного блока OB35 зумовлена вимогою до точного визначення кроку квантування при розрахунках керуючого впливу.

Модель САР запрограмована з використанням функціональних блоків типових динамічних ланок з бібліотеки LSim (FB LSsm\_Lagging і FB LSim\_PT1), що формують модель ОК, і типових регуляторів fbPID\_Compact.

	Name	Data type	Default value
1	Input		
2	<Add new>		
3	Output		
4	<Add new>		
5	InOut		
6	<Add new>		
7	Static		
8	PID_T	"fbPID_Compact"	
9	PID_M	"fbPID_Compact"	
10	Zap1	"LSim_Lagging"	
11	Zap2	"LSim_Lagging"	
12	ApZv1	"LSim_PT1"	
13	ApZv2	"LSim_PT1"	
14	ApZv3	"LSim_PT1"	
15	ApZv4	"LSim_PT1"	
16	uDelay1	UInt	1
17	uDelay2	UInt	20
18	Temp		
19	bTemp	Bool	
20	iTemp	Int	
21	diTemp	DInt	
22	dwTemp	DWord	
23	rTemp	Real	

Рис. 6.12 Інтерфейс fbSAR

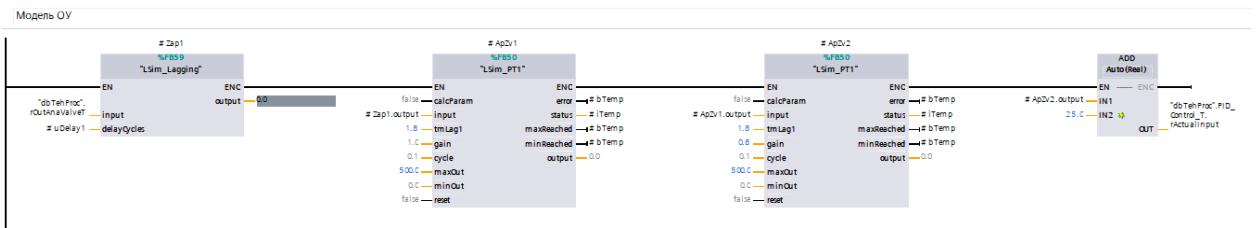


Рис. 6.13 Фрагмент моделі ОК – канал керування по температурі повітря в камері підсушки

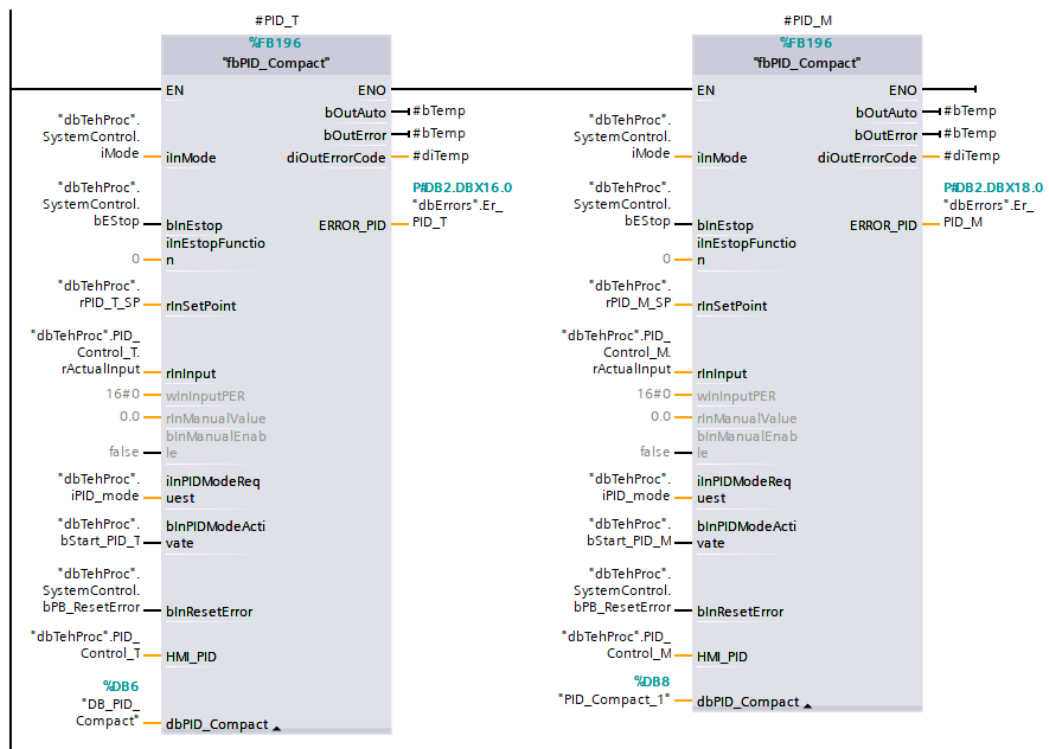


Рис. 6.14 – Фрагмент програми, що реалізує ПІД-регулятори

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

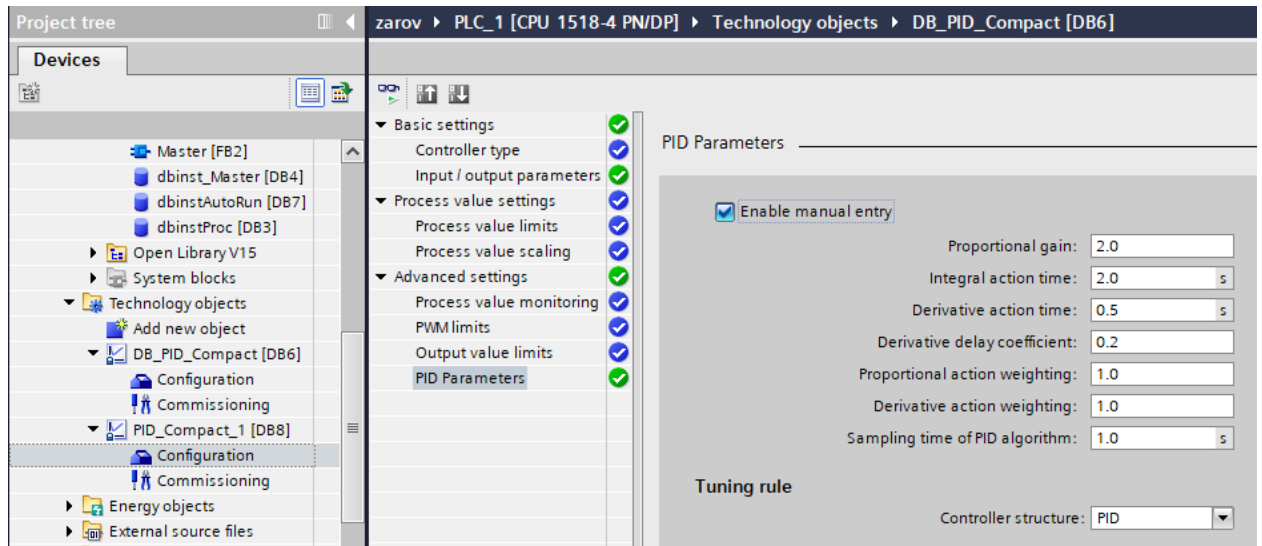


Рис. 6.15 Приклад налаштування параметрів ПІД-регулятора

Тестування проекту проводиться в режимі емуляції контролера з використанням програми S7 PLCSIM, в яку завантажуються розроблений проект.

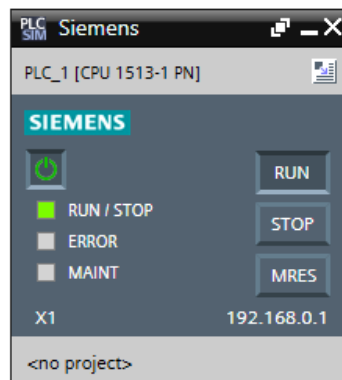


Рис. 6.16 Вигляд вікна програми PLCSIM

Результати тестування підтвердили правильність роботи програми, відповідно до вимог алгоритму керування. На рисунку 6.16 представлений загальний вигляд вікна емулятора контролера з працюючою в ньому програмою.

### **Висновок**

В результаті виконання даного розділу були вивчені основні характеристики контролерів фірми Siemens сімейства S7-1500 та принципи їх програмування.

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.

## 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК

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

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

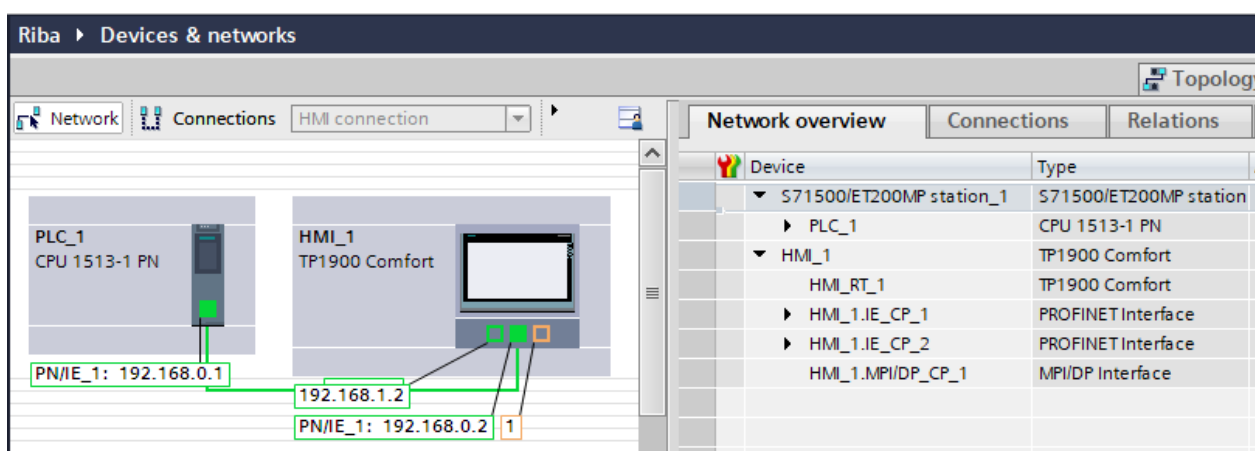


Рис. 7.1 Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх сполучення в мережі

Конфігурування панелі оператора TP 1900 Comfort виконуємо в розділі HMI\_1/Runtime settings дерева каталогу проекту.

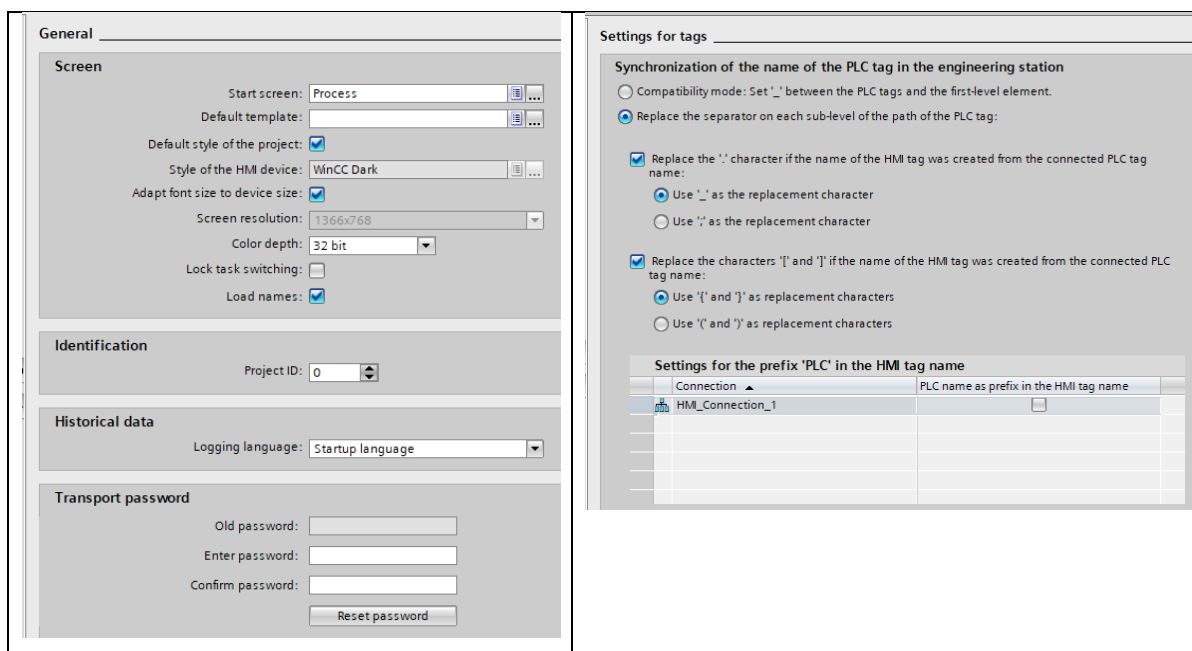


Рис. 7.2 Конфігурування TP 1900 Comfort

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

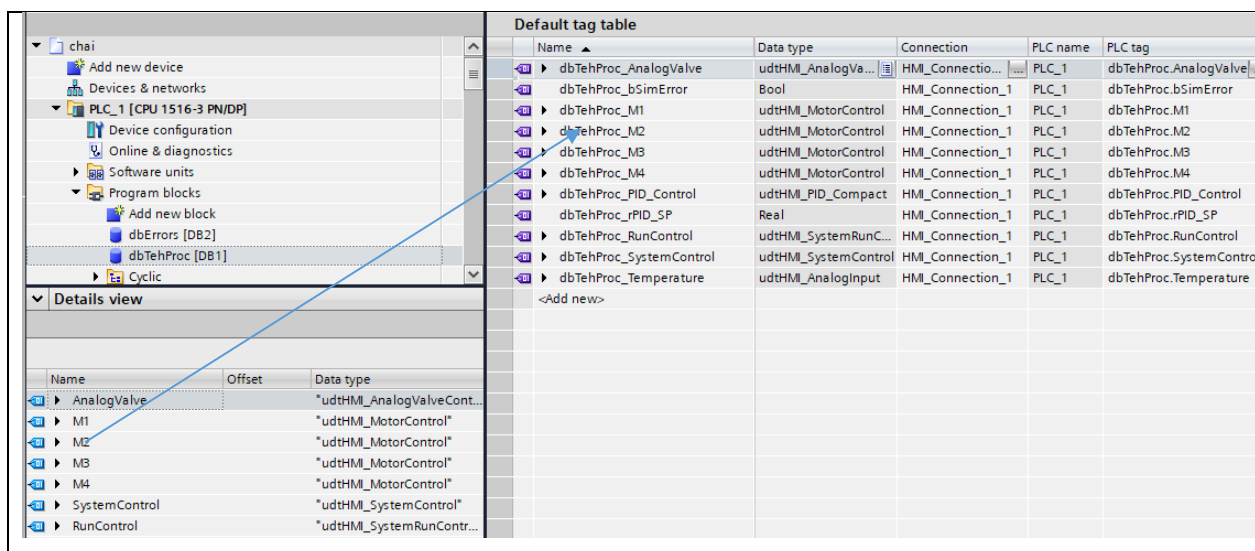


Рис. 7.3 Приклад створення таблиці НМІ-тегів

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 повинна містити в собі екрани для керування процесом сушіння чаю:

екран схеми установки для управління технологічним процесом;

екран для спостереження за регульованими змінними;

екран для відтворення діагностичних повідомлень про роботу технологічного агрегату.

Функції екранів АРМ оператора-технолога:

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

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

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

## **7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.**

Шаблон екранів.

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 логотипи університету, елемент відображення поточної дати і часу, назву проекту, прізвище розробника проекту.



Рис. 7.4 – Загальний вигляд шаблону екранів

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

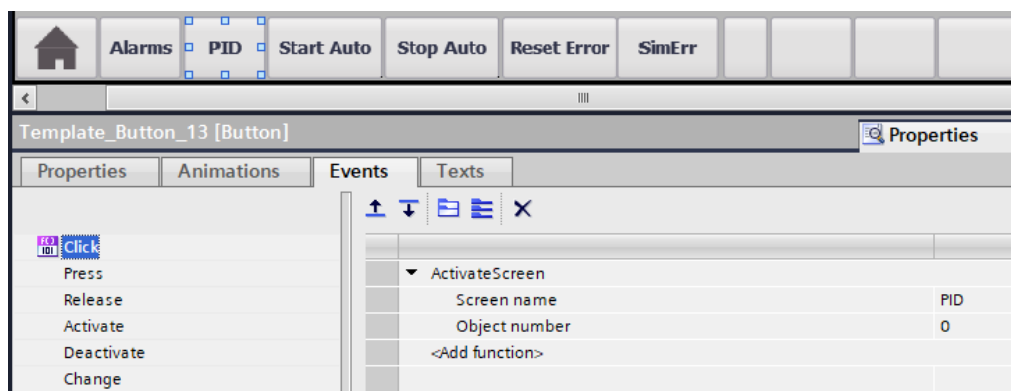


Рис. 7.5 – Приклад використання системної функції «Activate Screen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу

Для кожної одиниці обладнання спочатку створюємо пусті спливаючі вікна Pop-up screens, а потім заповнюємо їх відповідними зображеннями з розділу бібліотеки SOL.

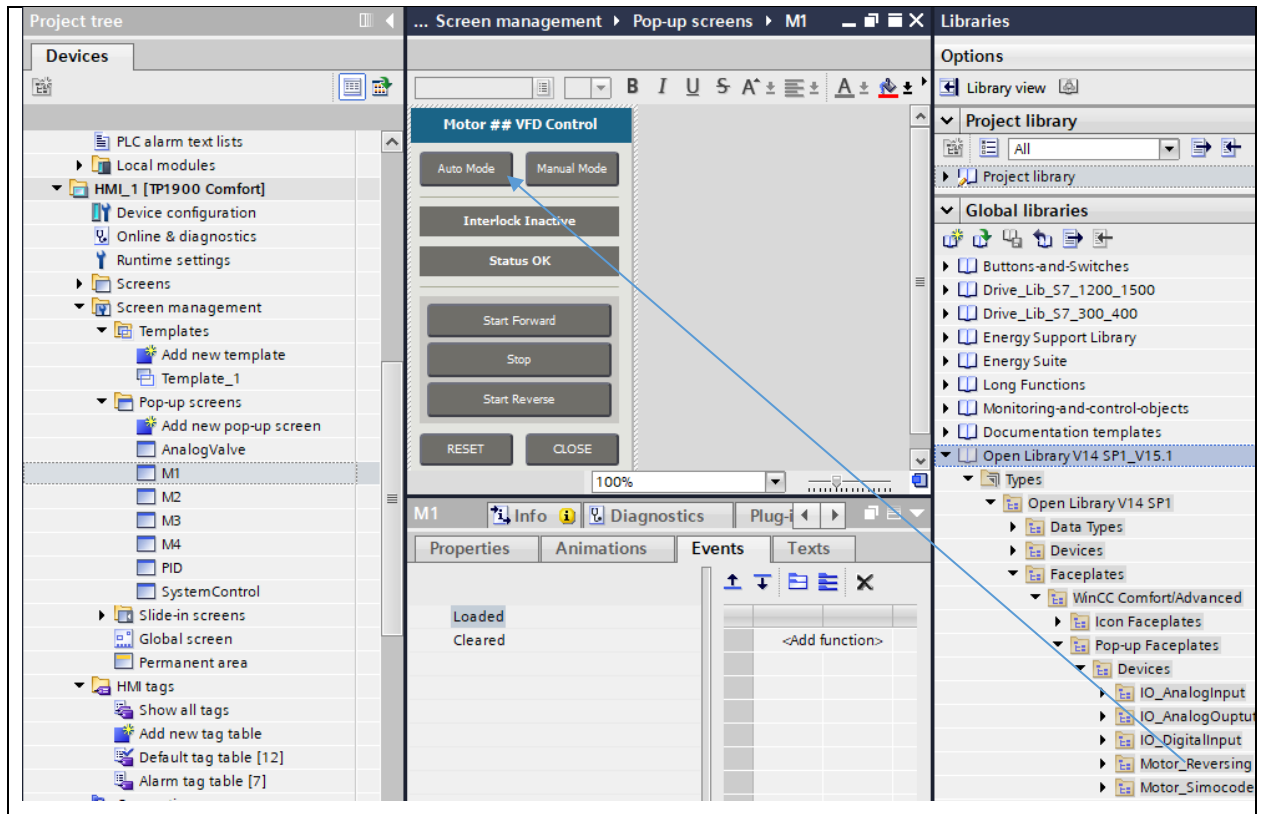
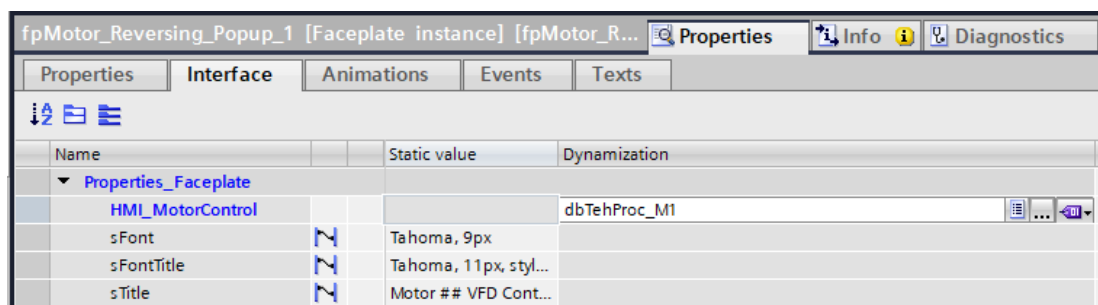


Рис. 7.6 Приклад створення спливаючих вікон для керування електроприводом

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



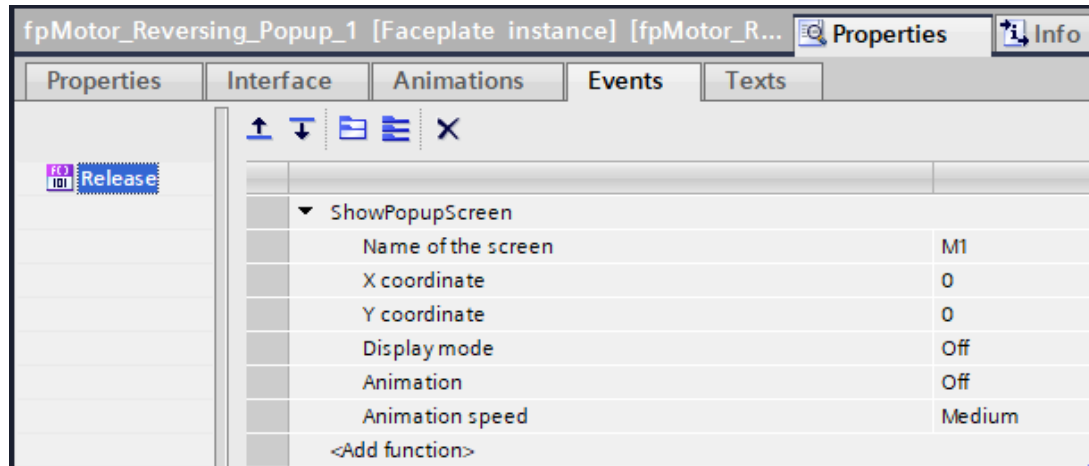


Рис. 7.7 Приклад визначення параметрів впливаючого вікна

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

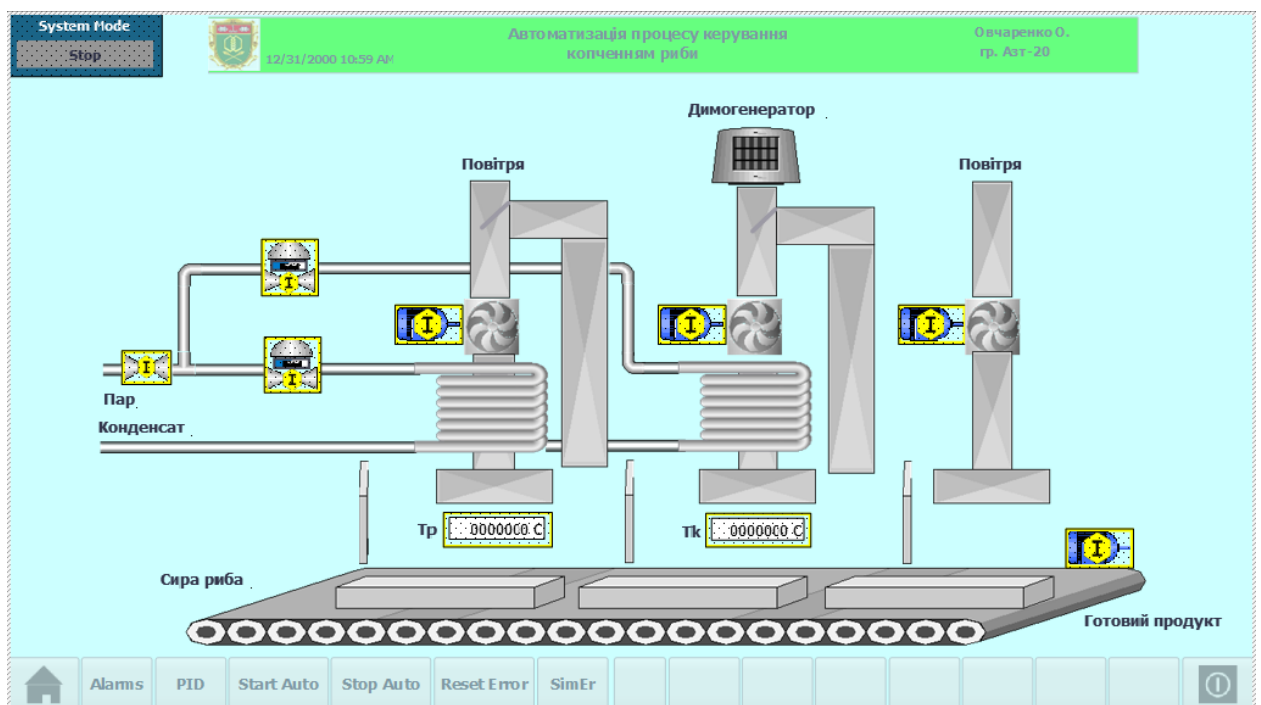


Рис. 7.8 Екран схеми установки

Кожний піктограму (Faceplate instance) пов'язуємо із відповідним тегом та спливаючим вікном.

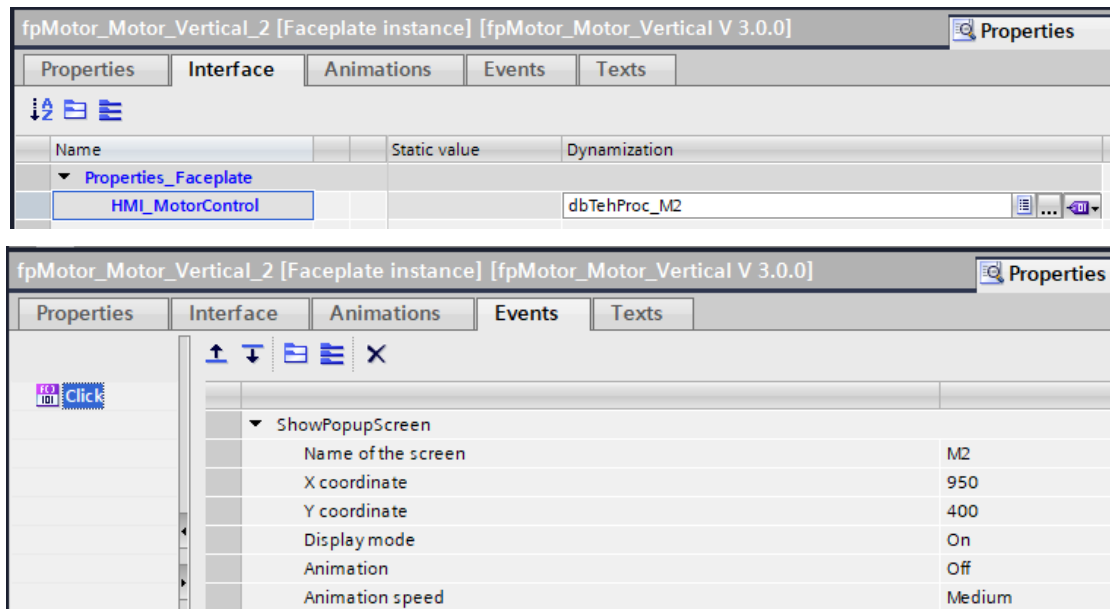


Рис. 7.9 Приклад налаштування піктограми електроприводу

Натискання на зображення піктограми забезпечить відкриття зображення відповідного спливаючого вікна конкретної одиниці обладнання, оскільки у властивості Events піктограми вписано виконання системної функції ShowPopupScreen.

Для реєстрації змін основних технологічних параметрів та налаштування параметрів ПІД-регуляторів в проекті передбачений екран PID (рис. 7.10).

Для побудови графіків зміни температури повітря та димо-повітряної суміші на виході із сушарки використовується елемент Trend View із стандартної бібліотеки. Приклад його налаштування наведений на рис. 7.11.

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

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

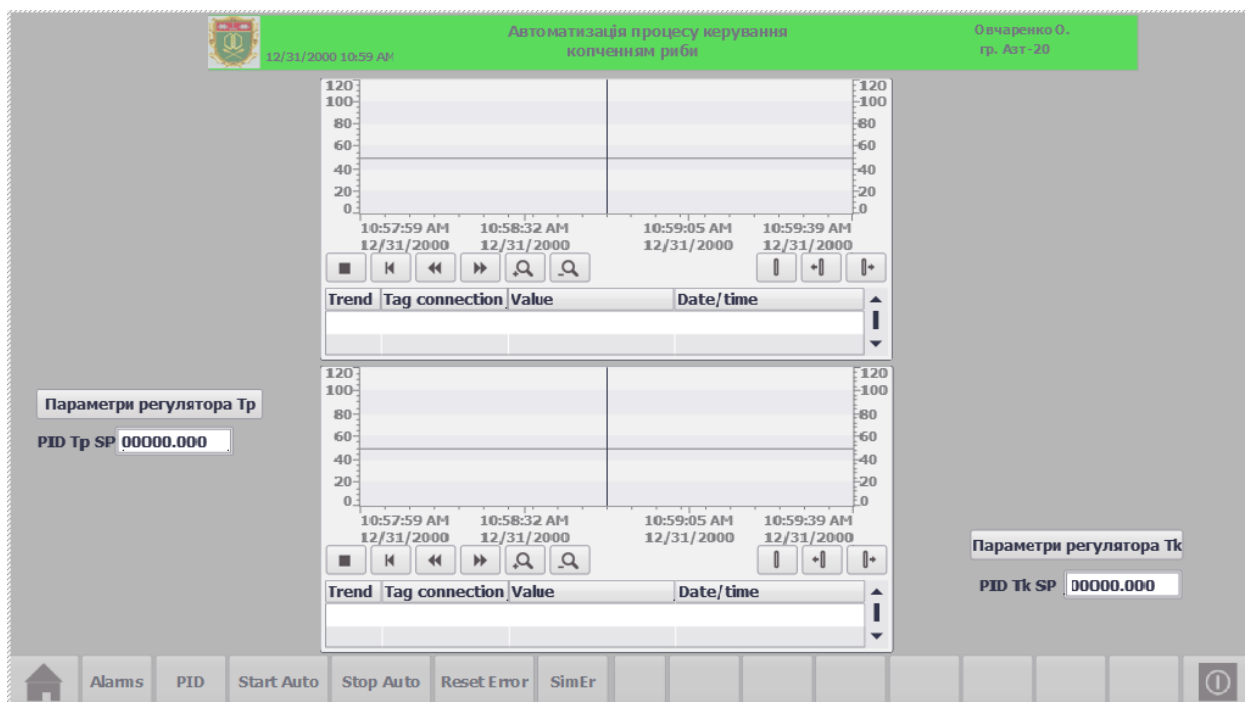


Рис. 7.10 Екран графіків

Налаштування цих елементів відображення показано на рис. 7.12.

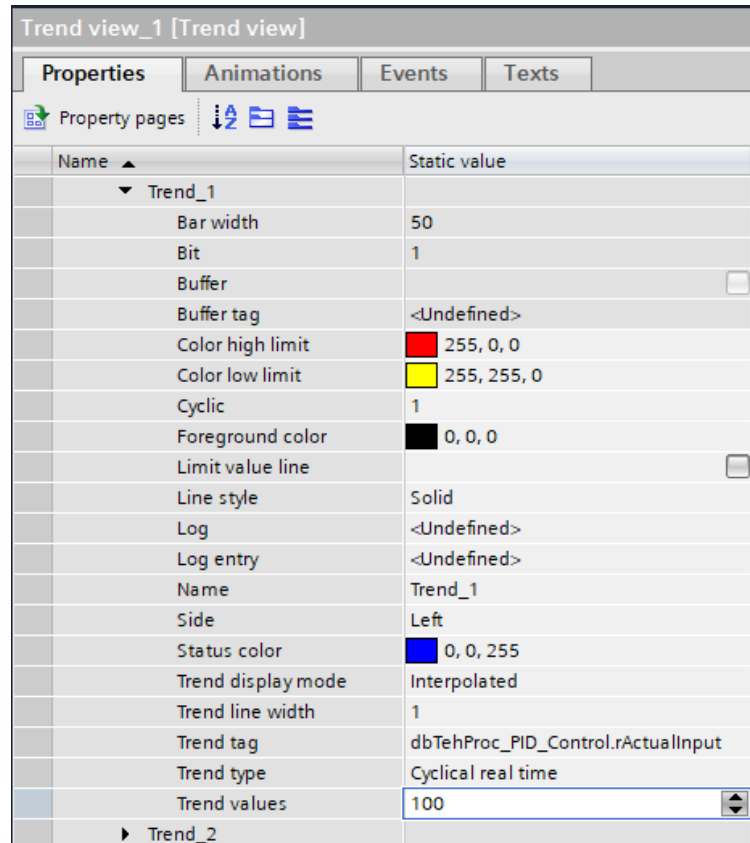


Рис. 7.11 Вікно налаштування елементу Trend

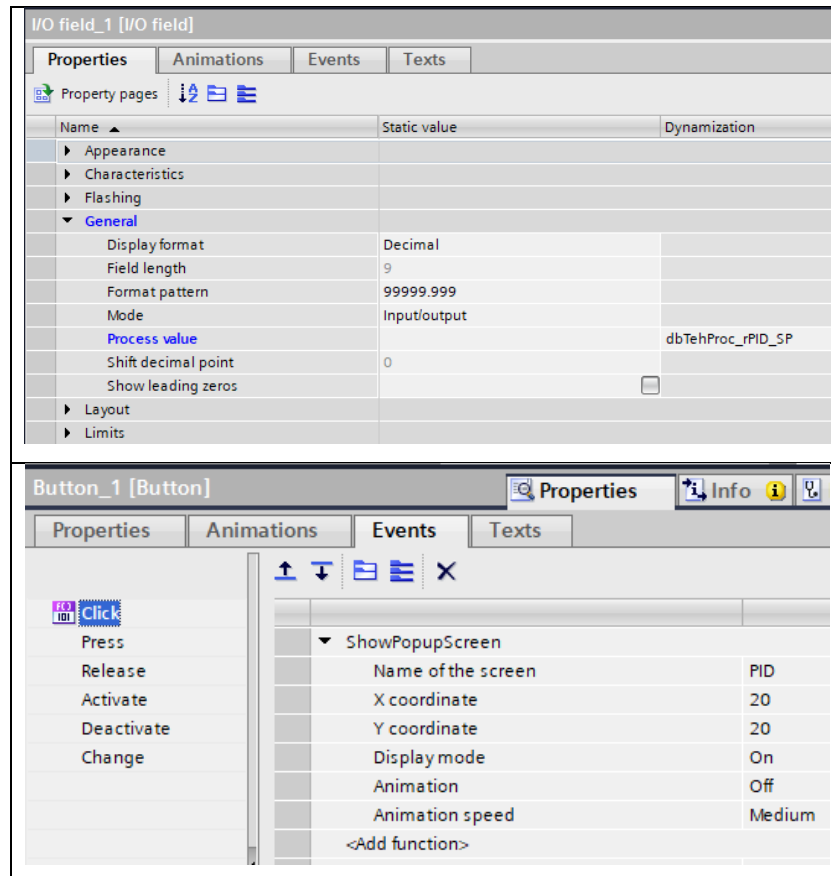


Рис. 7.12 Налаштування вікна вводу/виводу та кнопки

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

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

Далі теги з цього блоку даних пов'язуємо з 16-бітними тегами HMI.

The screenshot shows the SIMATIC Manager interface. On the left, the 'Devices' tree shows the project structure for 'chai', including PLC\_1 [CPU 1516-3 PN/DP] and data blocks dbErrors [DB2] and dbTehProc [DB1]. The 'Details view' shows a list of error tags with their offsets and data types.

Name	Offset	Data type	Accessi...
Er_Valve_Analog	0.0	"udtError_AnalogValve"	True
Er_M1	2.0	"udtError_Motor"	True
Er_M2	4.0	"udtError_Motor"	True
Er_M3	6.0	"udtError_Motor"	True
Er_M4	8.0	"udtError_Motor"	True
Er_PID	10.0	"udtError_PID_Compact"	True
Er_Temper	12.0	"udtError_AnalogInput"	True

The 'Alarm tag table' window shows the following data:

Name	Data..	Connection	PLC name	Address
ErM1	...	HMI_Connectio...	PLC_1	%DB2.DBW2
ErM2	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW4
ErM3	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW6
ErM4	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW8
ErPID	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW10
ErTemper	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW12
ErValveAnalog	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW0

The 'Discrete alarms' table shows the mapping of these tags to alarm messages:

ID	Name	Alarm text	Alarm class	Trigger tag	Trigge..
3	Discrete_alarm_3	InvalidFeedback	Errors	ErValveAnalog	8
4	Discrete_alarm_4	NoSignalForward	Errors	ErM1	11
5	Discrete_alarm_5	NoSignalReverse	Errors	ErM1	12
6	Discrete_alarm_6	LowLowAlarm	Errors	ErTemper	8
7	Discrete_alarm_7	HighHighAlarm	Errors	ErTemper	9
8	Discrete_alarm_8	InputPERInvalid	Errors	ErPID	9

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

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

Для відображення цих повідомлень для оператора створюємо екран

## Alarms.

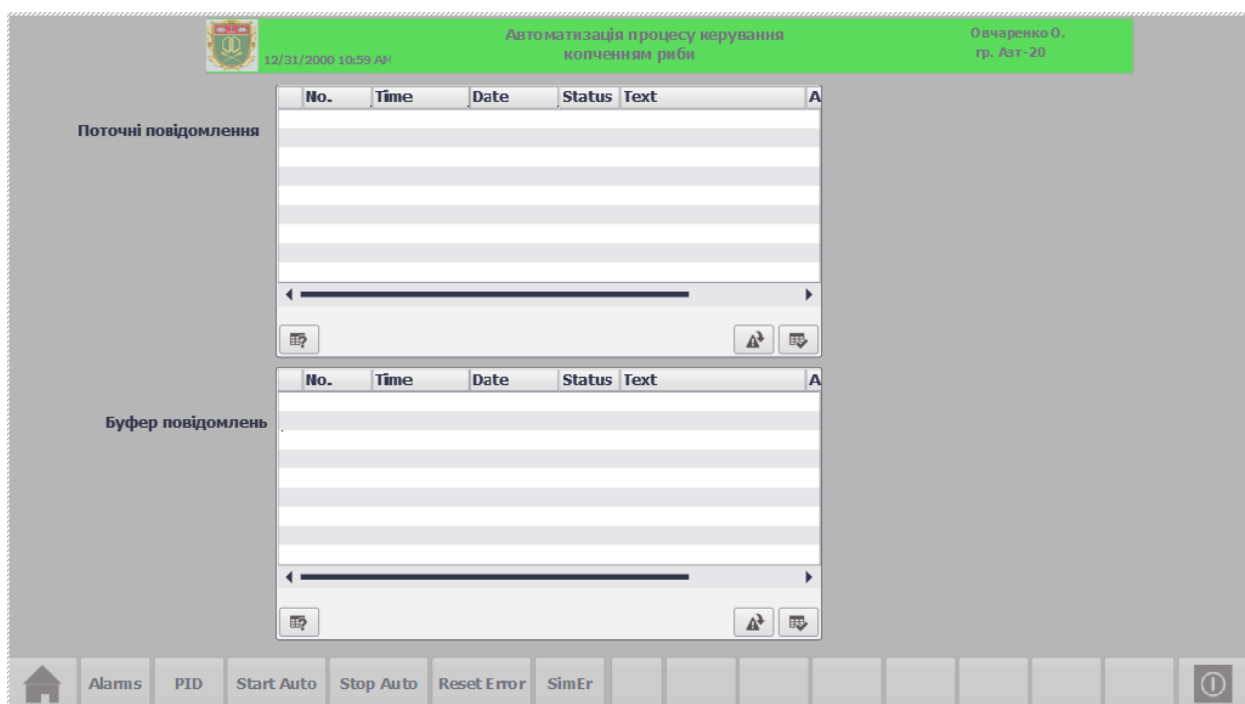


Рис. 7.14 Екран Alarms повідомлень про несправності

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

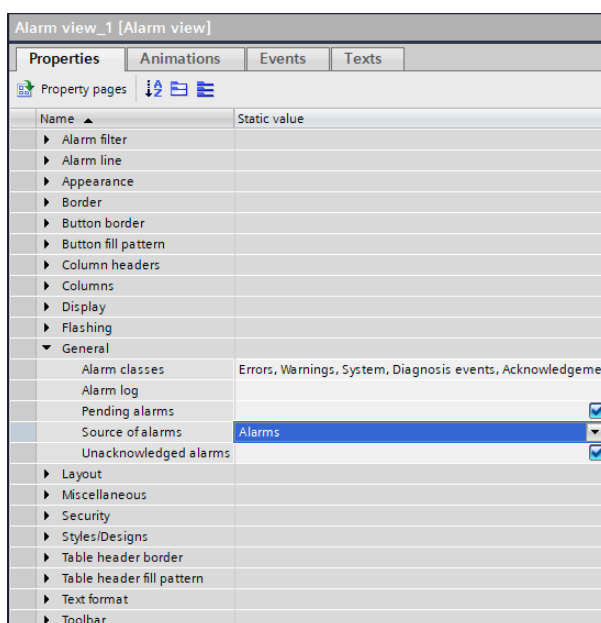


Рис. 7.15 Налаштування властивостей елемента Alarm View

При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів.

#### 7.4 Тестування системи керування.

Тестування проведемо в режимі емуляції контролера з використанням програми S7-PLCSIM, в середовище якої завантажуюємо проект ПЛК після його компіляції.

Відображення екранів виконується в режимі симуляції в середовищі Win CC Runtime Advanced, куди після компіляції завантажуюємо проект HMI.

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

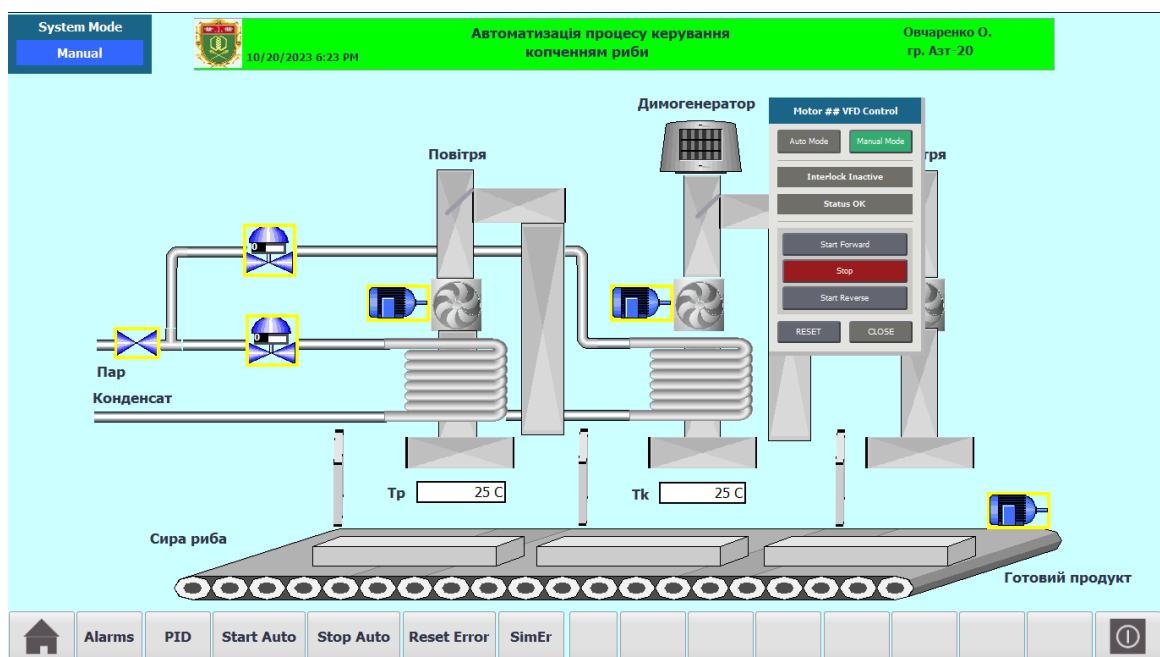


Рис. 7.16 Схема установки в ручному режимі

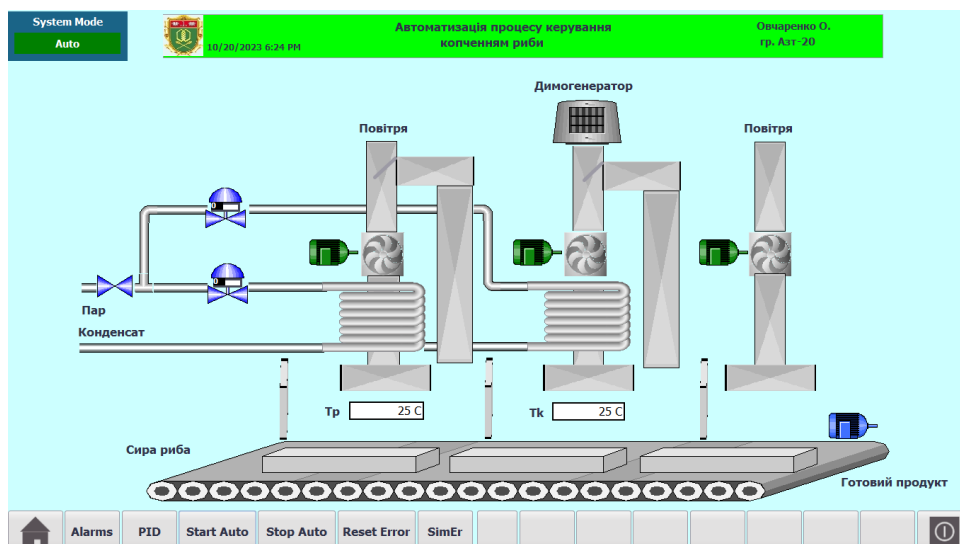


Рис. 7.17 Схема установки в автоматичному режимі

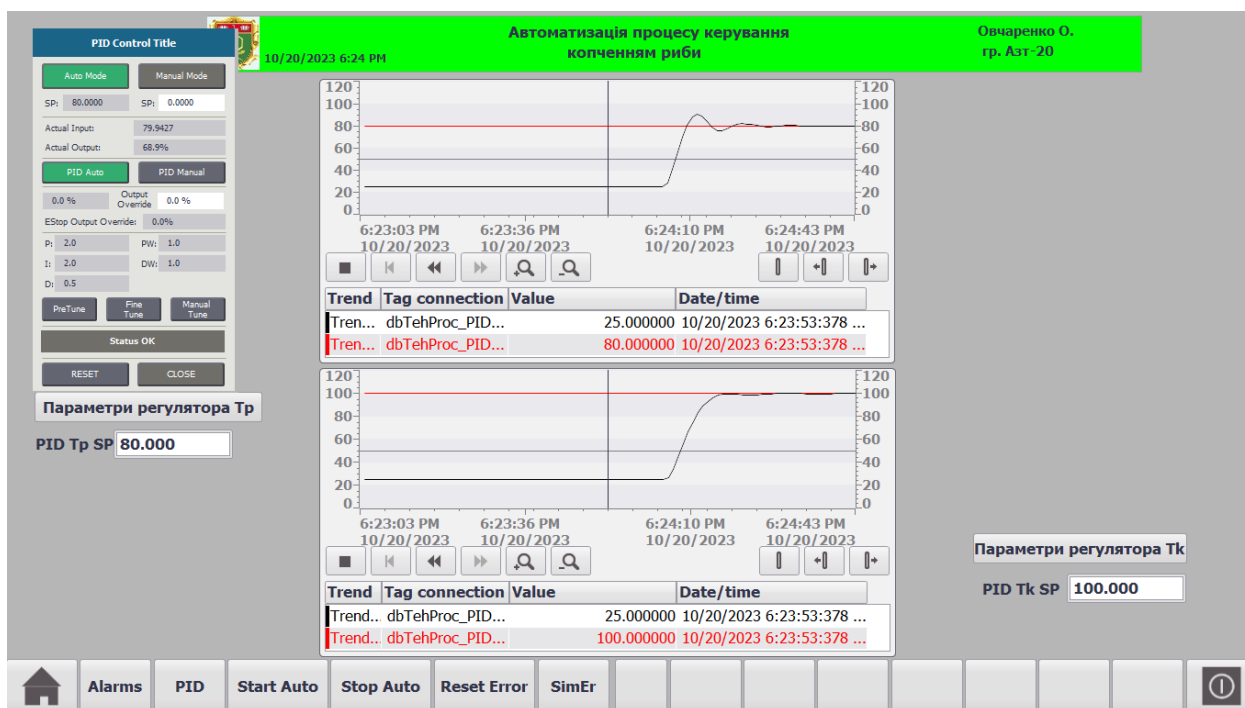


Рис. 7.18 Екран PID в тестовому режимі

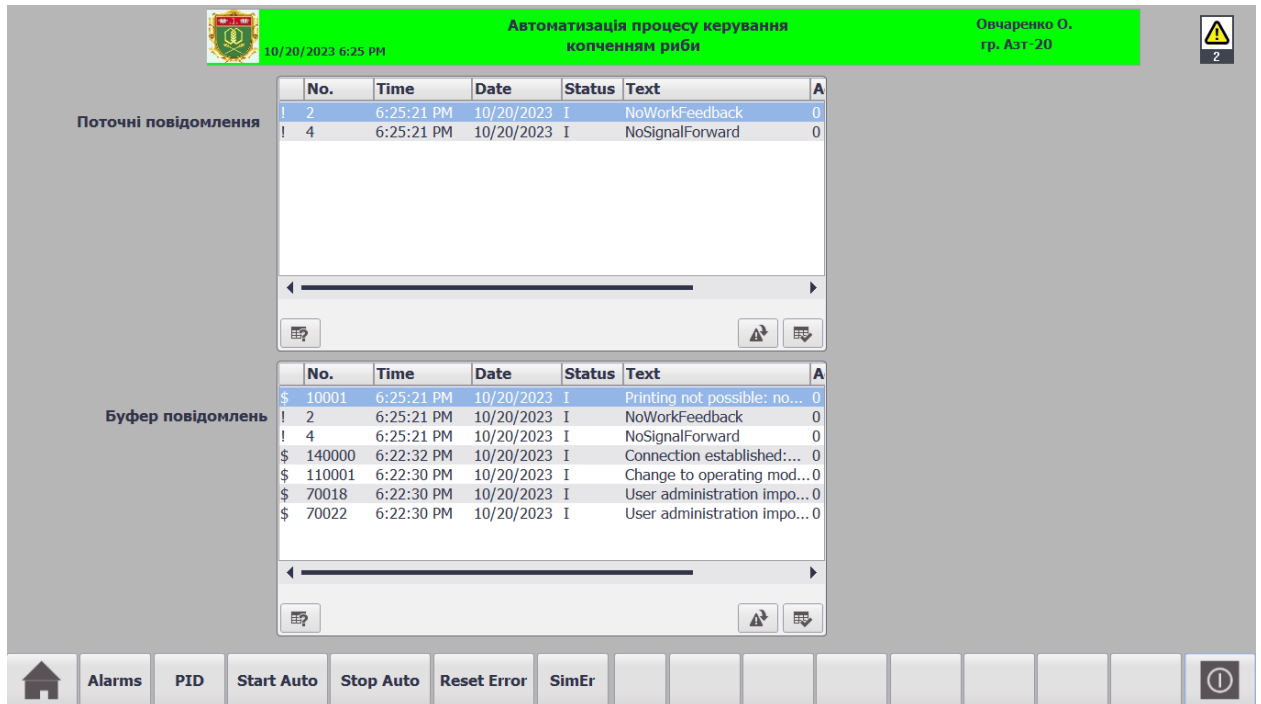


Рис. 7.19 ЕкранAlarms в тестовому режимі при імітації несправності

**Висновок:** у цій частині роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом коптіння риби. Створені екран для відображення схеми установки для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування.

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

## **8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці**

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

Основними характеристиками процесу копчення риби є температура повітря в камері підсушки та температура димо-повітряної суміші в камері копчення. Підтримання температури забезпечується за рахунок зміни витрат гріючої пари.

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

Графічні:

- 1 – схему автоматизації;
- 2 – принципову електричну схему керування електроприводами;
- 3 – принципову електричну схему живлення;
- 4 – принципову електричну схему підключення до блоку дискретних входів ПЛК;
- 5 – принципову електричну схему підключення до блоку дискретних виходів ПЛК;
- 6 – принципову електричну схему підключення до блоку аналогових входів/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. Таке технічне рішення дозволяє зменшити вплив струмів, які протікають по силовим кабелям, на роботу ПЛК і панелі оператора.

Центральний процесор CPU 1516-3 PN / DP, що реалізує основні функції контролю та регулювання, оснащений інтерфейсами PROFINET та PROFIBUS.

Всі модулі вводу/виводу серії SIMATIC S7-1500 та CPU монтуються на профільній шині Siemens 122мм, як окрема конструкція 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 мережам PROFINET, PROFIBUS;
- введення, фільтрацію й нормалізацію аналогових сигналів входу та виходу (струм, напруга – модуль AI 4xU/I AQ 2x4xU/I (6ES7534-7QE00-0AB0);
- опитування стану дискретних входів та вивід дискретних сигналів (DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) та DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0).

Взаємодія контролера і панелі оператора здійснюється по мережі PROFINET. Для керування сушаркою 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 Б.А. 2.4-16:2008 «Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах». Функції автоматичного регулювання й логіко-програмного керування, виконує ПЛК сумісно з панеллю оператора. Всі використані датчики вхідних сигналів обрані з уніфікованим вихідним сигналом струмовим (4...20mA), вихідний аналоговий сигнал напруги 0...10 V DC.

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

- 1 – керування та контроль стану ЕД М1 транспортера;
- 2 – керування та контроль стану ЕД М2 вентилятора;
- 3 – керування та контроль стану ЕД М3 димососа;
- 4 – керування та контроль стану ЕД М4 вентилятора;
- 5 – регулювання температури в камері підсушки за рахунок зміни положення виконавчого механізму подачі гріючої пари;
- 6 - регулювання температури в камері копчення за рахунок зміни положення виконавчого механізму подачі гріючої пари;
- 7 – контроль тиску гріючої пари;
- 6 – контроль температури в камері охолодження.

Реалізована функція передпускової сигналізації, та функція інтерфейсного зв'язку ПЛК панеллю оператора.

У контурах керування приводами (1, 2, 3, 4), які розміщені у силовій шафі, для кожного ланцюга керування встановлені ключі вибору режиму керування (місцевий або дистанційний), кнопки "ПУСК", "СТОП" із світлосигнальною арматурою (світлодіодом); по місцю встановлена кнопка аварійного відключення двигуна (кнопка "СТОП").

У контурі 5 реалізована система регулювання температури повітря в камері підсушки. Розглянемо дію цього контуру. Від датчика температури з уніфікованим перетворювачем 5а пропорційний температурі сигнал струму

4...20 мА DC подається на вхід модуля AI 4xU/I AQ 2x4xU/I AI (SM 334). ПЛК формує керуючий вплив, який з виходу цього модуля у вигляді напруги 0...10 V DC подається на виконавчий механізм у вигляді напруги 0...10 V DC.

У контурі 6 система регулювання температури реалізована аналогічно.

Контур 7 і 8 подають сигнали струму 4...20 мА DC, пропорційний тиску пари і температурі повітря, на аналоговий вхід модуля AI 4xU/I AQ 2x4xU/I AI (SM 334) ПЛК.

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

### **8.3 Розробка принципової електричної схеми контролю та керування електроприводом.**

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

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

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.702. ЕСКД. Правила виконання електричних схем;

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

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

Особливістю принципової електричної схеми контролю й керування електроприводом, є те, що вона будується як сполучена схема контролю,

керування, сигналізації й підключення вхідних і вихідних сигналів до контролера.

Для живлення електродвигуна в силову шафу на клеми XS0 подається трифазна напруга 400 V AC. Сполучними провідниками клеми під'єднані до автомату захисту двигуна Q1, який здійснює захист джерела живлення від короткого замикання та електродвигун від теплового перевантаження. Далі сполучними провідниками із Q1 з'єднані силові контакти контактора Q3, які в свою чергу сполучені із клемою XS0, від яких до двигуна через роз'єднувач ОВ-Q1 іде кабель W1.

Живлення 220 V AC шафи оператора здійснюється через кабель W4, який під'єднаний до клем XS0 в силовій шафі. Таке ж живлення через однофазний автоматичний вимикач Q2 та додатковий контакт Q1 подається в схему керування електроприводом. До аварійної кнопки S1, яка встановлена по місцю, живлення подається кабелем W3, що під'єднується до клем XS0.

Кнопкою Стоп S2 можна перервати струм в ланцюзі керування. Перемикач Місцевий-Дистанційний S3 також може перервати струм до кнопки Пуск S4 та подати живлення до котушки контактора Q3 через контакт реле K3. Його котушка живиться напругою 24V DC від дискретного виходу контролера через кабель W5, який підключений до клем XS1 в силовій шафі.

Проміжні реле K1 і K2 своїми контактами подають сигнали 0/24V DC про стан кнопки Аварійний стоп та автоматичних вимикачів Q1, Q2 на дискретні входи контролера. Додаткові контакти S3, Q3 подають сигнали 0/24V DC про стан перемикача Місцевий-Дистанційний та контактора на модуль дискретних входів контролера. Всі ці сигнали передаються через кабель W5, який підключений до клем XS1 в силовій шафі.

У додатку Б наведені ПЕС контролю та керування електроприводом та перелік приладів та засобів, які використані в цій схемі.

## **8.4 Розробка принципової електричної схеми живлення контролера та панелі оператора**

Елементи цієї схеми розміщені в шафі оператора. По кабелю W2 напруга живлення 220 V AC та захисне заземлення PE подається від силового щита до щита оператора на клеми X0. Від них сполучними провідниками живлення через двополюсний автоматичний вимикач подається на первинну обмотку розподільчого трансформатора T1. З його вторинної обмотки напруга живлення 220 V AC через автоматичні вимикачі Q2, Q3 надходить до двох джерел живлення G1, G2, на виходах яких утворюється напруга 24 V DC. Джерело G1 призначене для живлення панелі оператора, а джерело G2 призначене для живлення модулів ПЛК. Трансформатор T1 забезпечує гальванічний розподіл та підвищує завадостійкість живлення відповідальних засобів.

У схемі для виконання ремонтних робіт встановлена розетка RECEPT1, яка підключена до живлення 220 V AC через диференційний автоматичний вимикач Q1, що забезпечує розмикання ланцюга при струмі більше 30 mA та при короткому замиканні.

У додатку В наведені ПЕС живлення та перелік приладів, що в ній використані.

## **8.5 Розробка принципових електричних схем підключення до модулів ПЛК**

Модуль дискретних входів DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) розміщується на профільній шині Siemens 122мм в шафі оператора. До його входів по кабелях W5, 6, 7, 8, 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.

Модуль дискретних виходів DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) розміщується на профільній шині Siemens 122мм в шафі оператора. На його виходах формуються сигнали 0 або 24 V DC, які по кабелям W5, 6, 7, 8, що підключаються до клем SA-X1, передаються у силову шафу в схему керування електроприводами. Також до виходу модуля дискретних виходів підключається дзвоник P1, який формує звуковий сигнал.

Модуль аналогових входів/виходів AI 4xU/I AQ 2x4xU/I (6ES7534-7QE00-0AB0) розміщується на профільній шині Siemens 122мм в шафі оператора. До його аналогових входів за допомогою екранованих кабелів W9, 10, 11, що під'єднуються до клем SA-X1, підключаються датчики з уніфікованим виходом 4...20 mA DC відповідно: датчики температури в камерах підсушки, коптіння та охолодження. а за допомогою кабеля W12 під'єднується датчик тиску гріючої пари.

Аналогові виходи модуля формують сигнали 0...10 V DC, які за допомогою кабелю W13, 14, що підключається до клем SA-X1, і передають сигнали керування на виконавчі механізми клапанів пари.

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

## 8.6 Охорона праці

В цьому підрозділі проідентифікуємо потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що можуть виникнути при експлуатації установки. Наведемо їх гранично-допустимі концентрації з посиланням на нормативні акти, в яких вони встановлені, та зазначимо наслідки від їх впливу. Зведемо дані у таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
1.	Підвищена або знижена температура повітря робочої зони	21-24 °С	Стан втоми, перегрів або переохолодження організму
2.	Підвищена або знижена рухливість повітря	0,2-0,4 м/с	Простудні захворювання, перегрів організму
3.	Підвищена або знижена вологість повітря	65-75%	Ревматичні, алергічні, захворювання
4.	Недостатня освітленість робочої зони	КПО -1,2%,Е – 200 лк.	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів

Таблиця 8.2 (продовження) – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
5.	Підвищений рівень шуму на робочому місці	80 дБА	Захворювання органів слуху
6.	Підвищений рівень вібрації на робочому місці	0,028 м/с x 10 <sup>-2</sup> /75дБ (загальна вібрація); 2 м/с x 10 <sup>-2</sup> /112 дБ (локальна вібрація)	Захворювання нервової системи

7.	Статичні перевантаження	-	Стан втоми
8.	Прямий і відбитий відблиск монітора	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
9.	Знижена контрастність	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
10.	Підвищений рівень електромагніт-ного випромінювання	10 Вт/м <sup>2</sup>	Біохімічні зміни в організмі
11.	Підвищений рівень іонізації повітря	n+: 1500-3000 одиниць/см <sup>3</sup> ; n-: 3000-5000 одиниць/см <sup>3</sup>	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання

Таблиця 8.2 (закінчення) – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
12.	Канцерогенні, токсичні, мутагенні речовини (озон, оксид азоту, оксид вуглецю, толуол, ксилол, бензол, ізооктан тощо.)	Озон - 0,1 мг/м <sup>3</sup> ; оксид азоту – 5 мг/м <sup>3</sup> ; бензол – 15/5 мг/м <sup>3</sup> ; ксилол – 50 мг/м <sup>3</sup> ; толуол – 50 мг/м <sup>3</sup> ; оксид вуглецю – 20 мг/м <sup>3</sup> .	Біохімічні зміни в організмі

13.	Мікроорганізми	-	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання
14.	Локальні перенавантаження м'язів кистей рук	-	Тунельний синдром
15.	Монотонність праці	-	Стан втоми, головний біль

Категорії приміщень об'єкту автоматизації були визначені в розділі 5.

АРМ оператора передбачає роботу з панеллю оператора, за допомогою якої він спостерігає за роботою установки, а також має можливість керувати установкою в дистанційному або автоматичному режимі. На екрані панелі всі прилади установки мають свої умовні позначення та мають можливість змінювати колір при зміні стану. При появі аварії чи блокуванні в установці, інженер має можливість побачити місце, в якому з'явилася аварія, та усунути помилку.

Так як автоматизоване робоче місце розташоване у приміщенні, забезпечується відповідність усіх елементів робочого місця:

- площа на одне робоче місце становить, 10,0 м<sup>2</sup>, а об'єм - 25,0 м<sup>3</sup>;

норма: площа – 6,0 м<sup>2</sup>, об'єм - 20,0 м<sup>3</sup>.

- інженер сидить за стандартним столом на м'якому кріслі;

- ЖК монітор відображає всю необхідну інформацію;

- трудові операції виконуються виключно на робочому місці;

- на робочому місці добре освітлення, вікно знаходиться з правого боку, на столі знаходиться світильник.

Визначимо категорію робіт за ступенем важкості. Оператор АРМ виконує роботу в положенні сидячі, що пов'язане з постійним спостереженням (таблиця 8.3).

Таблиця 8.3 – Виробниче приміщення, період року, категорія роботи, що виконується, температура, відносна вологість, швидкість руху повітря

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

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

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

Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення наведені у таблиці 8.4.

Таблиця 8.4 – Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення

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

На кожному технологічному об'єкті для забезпечення нормальної експлуатації засобів автоматизації повинні бути затверджені робочі експлуатаційні інструкції та виконавчі схеми електричних і трубних з'єднань апаратури. Перелік інструкцій і схем затверджується головним інженером підприємства.

Пуск і експлуатація технологічного та енергетичного обладнання з несправними та відключеними КВПіА, системою технологічної захистів і пристроями необхідними для експлуатації обладнання в режимі ручного керування, забороняються. У процесі пуску і зупинки устаткування в режимі ручного керування необхідно стежити за проходженням відповідних операцій за показаннями контрольно-вимірювальних приладів. При порушенні встановленої послідовності, тривалості операцій і відхиленні параметрів від заданих слід негайно зупинити обладнання і повернути його в початковий стан.

Реле й засоби захисту, пристрої технологічної автоматики, а також прилади, за якими ведеться контроль за роботою обладнання повинні бути опломбовані. При необхідності проведення будь-яких робіт на панелях, в щитах і ланцюгах захисту і електроавтоматики умови ввімкненого основного

обладнання слід вжити заходів обережності проти помилкових дій в результаті помилок персоналу. Виконання цих робіт без виконавчих схем (по пам'яті), а також без заданих обсягів і послідовностей операцій забороняється. Після проведення робіт у вторинних ланцюгах слід перевірити справність цих ланцюгів і правильність їх приєднання шляхом випробування пристрою (схеми) в дії безпосередньо або побічно.

Безпека обслуговуючого персоналу і сторонніх осіб повинна забезпечуватися шляхом застосування належної ізоляції, дотримання відповідних відстаней до струмоведучих частин або шляхом їх закриття, огороження застосування блокування апаратів, заземлення або занулення корпусів електроустаткування і елементів електроустановок, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції.

Монтажні ремонтні роботи в електричних мережах і пристроях або поблизу них, також роботи по приєднанню і від'єднанню проводів повинні проводитися тільки при знятій напрузі.

Засоби автоматизації з джерелами електроенергії, які знаходяться під напругою або на які в будь-який момент може бути подана напруга, вважаються чинними електроустановками і на них поширюються правила по техніки безпеки. Слюсарно-монтажний інструмент з ізолюючими рукоятками, викрутки, кліщі, плоскогубці та ін. широко застосовуються при роботах без зняття напруги в електроустановках напругою  $\sim 220\text{В}$  /  $\sim 380\text{В}$ . В якості додаткових засобів захисту застосовуються діелектричні рукавички, діелектричні калоші і діелектричні килими.

Забороняється проводити на ходу, без зупинки машин і механізмів, чищення і змащення рухомих частин, ремонт і заміну окремих деталей.

Всі датчики повинні бути справними, мати чітке клеймо із зазначенням дати перевірки та опломбованими. Забороняється проведення ремонтних робіт на апаратах і комунікаціях, які знаходяться під тиском, на робочому і холостому ходу, наповнених робочими газами, парою, рідинами і т.д.

Перед ремонтом обладнання, механізмів, зчеплених з електродвигунами, обов'язково повинна бути розроблена електрична схема і вивішений попереджувальний плакат «Не включати, працюють люди!».

Перед ремонтом необхідно переконатися в наявності заглушок на вході і виході газу або рідини з обладнання і комунікацій. Заглушки встановлюють з хвостиками, щоб їх можна було бачити. Запобіжники в пристроях автоматики необхідно знімати тільки при відключеному напрузі. Кожен робітник повинен пам'ятати, що електричний струм небезпечний для життя: сила струму 0,1А - смертельна для людини.

Захисного заземлення підлягають металеві неструмоведучих частини електрообладнання, які внаслідок несправності можуть виявитися під напругою і до яких можливий дотик людей. При цьому в приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних, а також в зовнішніх пристроях заземлення обов'язково при номінальній напрузі вище 36 В змінного струму і 110 В постійного струму. При напрузі 500 В і вище змінного і постійного струму заземлення обов'язково в усіх випадках, а у вибухонебезпечних приміщеннях захисне заземлення здійснюється при будь-яких напругах змінного і постійного струму.

Відповідно до типових правил пожежної безпеки організація пожежної безпеки покладається на керівників об'єктів, які зобов'язані:

- організувати на підвідомчих об'єктах вивчення і виконання типових правил усіма працівниками підприємства;
- організувати проведення протипожежного інструктажу і заняття з пожежно-технічного мінімуму;
- встановити у всіх приміщеннях підприємства строгий протипожежний режим і контролювати його дотримання;
- періодично перевіряти стан пожежної безпеки об'єкта, наявність і справність технічних засобів боротьби з пожежею.

Пожежну безпеку окремих підрозділів підприємства (цехів, лабораторій, майстерень, складів і т.п.) забезпечують їх безпосередні керівники, які зобов'язані:

- забезпечити дотримання на підпорядкованих їм ділянках встановленого протипожежного режиму;
- стежити за справністю виробничого обладнання та негайно вживати заходів до усунення несправностей, що призводять до пожежі;
- стежити за тим, щоб після закінчення роботи прибиралися спаленні відходи, відключалися електроприймачі;
- забезпечити постійну готовність до дії засобів пожежогасіння, зв'язку та сигналізації.

Усі робітники і службовці промислових підприємств проходять спеціальну протипожежну підготовку, яка складається з протипожежного інструктажу (первинного і повторного) і занять з пожежно-технічного мінімуму, що проводяться за спеціальною програмою.

Для кожного цеху, майстерні та інших об'єктів повинні бути розроблені протипожежні інструкції, погоджені з пожежною охороною підприємства або з місцевими органами державної пожежної охорони. У цих інструкціях визначаються місця і порядок утримання засобів пожежогасіння, пожежної сигналізації і зв'язку; обов'язки працівників при виникненні пожежі, правила виклику пожежної команди, зупинки і відключення устаткування.

У приміщеннях і на території підприємства, як правило, куріння дозволяється тільки в спеціально відведених для цього місцях. Забороняється застосування відкритого вогню (паяльні лампи, факели та ін.) для обігрівання трубопроводів із замерзлими або застиглими рідинами. Забороняється захаращувати підходи до технологічного устаткування, засобів зв'язку і пожежогасіння, а також проходи і виходи з приміщення.

На кожному об'єкті повинні бути схеми пожежного водопроводу із зазначенням місць встановлення пожежних кранів і гідрантів, місця їх

установки повинні бути позначені спеціальними значками і написами «ПК» і «ПГ».

На підприємствах встановлюється електрична пожежна сигналізація, яка служить для швидкого сповіщення служби пожежної охорони про яка виникла пожежі в будь-якому приміщенні або спорудженні підприємства. Особливо небезпечні виробництва мають бути оснащені засобами автоматичного пожежогасіння: пінного, водяного, порошкового.

#### Висновки 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 сушіння чаю. В результаті виконання отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням ПЛК та сучасних пристроїв автоматизації.

Також в рамках цього розділу роботи опрацьовано основні питання, пов'язані з охороною праці при експлуатації системи автоматичного керування процесом.

## 9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності реалізації роботи

### 9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації

В даному підрозділі дипломного проекту буде обґрунтована економічна доцільність впровадження варіантів розробленої системи автоматизації. Для розрахунку економічних показників впровадження варіантів модернізованої АСУ будуть враховані ціни на придбання комплексу технічних засобів, датчиків температури, рівня, виконавчих механізмів та кабельної продукції.

Таблиця. 9.1. Витрати на придбання засобів автоматизації

Найменування	Тип, марка	К-ть	Оптова ціна з ПДВ, грн	
			За од.	Сума
Датчик тиску	VEGABAR 18	1	2000	2000
Виконавчий механізм	BELIMO LH24A-SR100	1	2846	2846
Датчик температури	TEPA (ТСП гр.100П)	2	347	694
Контролер програмований	SIMATIC S7-1500	1	27601	27601
Модуль дискретного вводу	DI 16x24VDC BA 6ES7 521-1BH10-0AA0	1	4000	4000
Модуль дискретного вводу	DQ 16x24VDC/0.5A BA 6ES7 522-1BH10-0AA0	1	4000	4000
Панель оператора	TP1900	1	105065	105065
Блоки живлення	PM	2	3003	6006
Дзвоник електричний	DC	1	50	50
Аварійна грибовидна	Siemens: 3SU1100-1HB20-1FG0	1	2645	2645

червона кнопка з фіксацією				
Автоматичний вимикач захисту двигуна	SIEMENS SIRIUS 3RV2021-1KA10	1	1805	1805
Контактор	Siemens 3RT2017-1AP1-0CC0	1	1090	1090
Автоматичний вимикач	Siemens 6kA (5SL6116-6)	1	155	155
Кнопка 22 мм, кругла, пластикова, червона, без фіксації	Siemens: 3SU1100-0AB20-1CA0	1	213	213
Поворотний перемикач	Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	1	430	430
Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем	Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	1	94	94
Проміжне реле	Schneider Electric Zelio 4CO	3	220	660
Запобіжник	50F	3	38	114
Двополюсний модульний автоматичний вимикач	Сіменс 5SL6	1	335	335
Трансформатор	ОСМ-1 0	1	800	800
Дифавтомат	HAGER 25A	1	152	152
Автоматичний вимикач	Siemens 1-полюсний, 16А, тип В, 6кА (5SL6116-6)	2	155	310
Блок живлення	Siemens: 6EP1332-4BA00	2	950	1900
Розетка на DIN-рейку	Hager SN016	2	292	584

Всього				165349
--------	--	--	--	--------

1. Продажна вартість засобів автоматизації (Ц<sub>ПРСАК</sub>):

$$\text{Ц}_{\text{ПРСАР}} = 165349 \text{ грн.}$$

2. Розрахунок інвестицій, які необхідні для реалізації проекту, визначаються за формулою:

$$\text{ІССАР} = \frac{\text{Ц}_{\text{прсар}} + \text{Ц}_{\text{прсар}} \cdot \text{Км} + \text{Ц}_{\text{прсар}} \cdot \text{Нт}/100 + \text{Ц}_{\text{прсар}} \cdot \text{Нтр}/100}{1 + (\text{Ц}_{\text{прсар}} + \text{Ц}_{\text{прсар}} \cdot \text{Нт}/100 + \text{Ц}_{\text{прсар}} \cdot \text{Нтр}/100) \cdot \text{Нзс}/100} = \text{Ц}_{\text{прсар}}, (1)$$

де: Ц<sub>прсар</sub> - продажна вартість засобів автоматизації,

Км - коефіцієнт відрахувань на монтажні роботи, Км = 0,1;

Нт - норматив відрахувань на тару та упакування, Нт = 0,25%;

Нтр - норматив відрахувань на транспортні витрати Нтр = 5%;

Нзс – норматив відрахувань на заготівельно-складські витрати, Нзс = 1,2%.

Сумарні капітальні інвестиції, які підприємство повинне буде вкласти для впровадження засобів автоматизації, дорівнює сумі витрат на придбання, монтаж і налагодження засобів автоматизації. Знайдемо суму первинних інвестицій для альтернативних варіантів реалізації системи регулювання:

$$\text{ІССАР} = 165349 \cdot [(1+0,1+0,0025+0,05) + (1+0,0025+0,05) \cdot 0,012] = 165349$$

Модернізація системи автоматичного регулювання здійснюється за рахунок власних коштів підприємства.

## 9.2 Розрахунок змін основних показників діяльності підприємства, джерел інвестування й інвестиційної привабливості.

В результаті модернізації установки брак продукції не повинен перевищувати 1% (брак продукції до модернізації 5%) .

Ціна за 1т продукції – 30000 грн

Продуктивність установки 10т/діб

Час роботи 300 діб в рік (Т).

Сумарні капітальні інвестиції (ІССАР ):

ІССАР = 165349 грн

1. Визначаємо обсяг виробництва  $OV_{\text{рік}}$  за формулою:

$$OV_{\text{рік}} = П * Т \quad (2)$$

$$OV_{\text{рік}} = 10 * 300 = 3000 \text{т/рік}$$

2. Визначимо кількість браку до і після модернізації за формулою :

$$Br = OV * K_{br} \quad (3)$$

$$Br_1 = OV * K_{br1} = 3000 * 0.05 = 150 \text{ т}$$

$$Br_2 = OV * K_{br2} = 3000 * 0.01 = 30 \text{ т}$$

3. Визначимо обсяг реалізованої продукції до і після модернізації за формулою:

$$OP = (OV - Br) * Ц_{од.пр} \quad (4)$$

$$OP_1 = (OV - Br_1) * Ц_{од.пр.} = (3000 - 150) * 30000 = 85500000 \text{грн}$$

$$OP_2 = (OV - Br_2) * Ц_{од.пр.} = (3000 - 30) * 30000 = 89100000 \text{грн}$$

4. Визначимо заміну амортизаційних відрахувань за рахунок модернізації САР за формулою:

$\Delta A = IC * N_a$  , де  $N_a$  - норма річних амортизаційних відрахувань для засобів автоматизації, яка дорівнює 50%; (5)

$$\Delta A = 14,4 \text{ тис. грн}$$

5. Визначимо річну зміну повної собівартості продукції за рахунок модернізації САР:

$$\Delta C_{\text{п}} = \Delta A = 96315,8 \text{ грн}$$

6. Визначимо приріст прибутку підприємства за рахунок впровадження САР:

$$\Delta \text{П} = (\text{Бр1} - \text{Бр2}) * \text{Цод.пр} - \Delta A = (150 - 30) * 90000 = 10705,6 \text{ тис. грн}$$

Визначимо приріст чистого прибутку: (6)

$$\Delta \text{ЧП} = \Delta \text{П} * (1 - 0,18), \text{ де (7)}$$

Пп – податок на прибуток, який дорівнює 18%.

$$\Delta \text{ЧП} = 10785,6 * 0,82 = 8778,9 \text{ тис. грн}$$

7. Визначимо чистий грошовий потік:

$$\text{ЧГП} = (\Delta \text{ЧП} + \Delta A) = 8778,9 + 14,4 = 8793,35 \text{ тис.грн (8)}$$

### 9.3 Висновок за розділом

Виходячи з розрахунків, проект модернізації САК є інвестиційно вигідним, тому що приріст чистого прибутку складає 8778,9 тис. грн. Також при цьому чистий грошовий потік за період реалізації проекту дорівнює 8793,35 тис.грн.

## Загальні висновки

У ході виконання кваліфікаційної роботи було розроблено варіант комплекту технічної документації для системи автоматичного керування на базі контролера Siemens SIMATIC S7-1500, що використовується для процесу копчення риби. Розроблений комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування процесу копчення риби. У результаті виконання цієї роботи отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням ПЛК та сучасних пристроїв автоматизації.

Основною метою цієї роботи було підвищення техніко-економічних показників процесу копчення риби, а також вдосконалення автоматизації процесу з метою забезпечення стабільності, точності та безпеки виробничих операцій. У результаті дослідження було виявлено та враховано основні фактори, що впливають на якість копченого продукту, зокрема, температура, вологість та час копчення.

### Технічні результати

- 1. Розробка алгоритмів керування:** Було розроблено алгоритми автоматичного керування процесом копчення, які забезпечують підвищення динамічної точності стабілізації регульованих змінних як в перехідних, так і в сталих режимах роботи САР.
- 2. Створення програмного забезпечення:** Створено програми для ПЛК, що реалізують розроблені алгоритми пуску і зупинки обладнання. Це забезпечило надійне та ефективне керування процесом копчення.
- 3. Розробка інтерфейсів користувача:** Розроблено інтерфейси АРМ оператор-технолога та наладчика САР, які спрощують взаємодію користувачів з системою, забезпечуючи інтуїтивно зрозумілий контроль та моніторинг процесу.

### Економічні аспекти

Було проведено аналіз і розрахунок економічної доцільності реалізації проекту, що дозволило обґрунтувати доцільність впровадження модернізованої системи. Підвищення ефективності процесу копчення риби здатне дати суттєвий економічний ефект. Впровадження запропонованої системи керування дозволить істотно зменшити витрати на обслуговування обладнання, підвищити продуктивність та якість продукції, що призведе до значних економічних вигод для підприємства.

### Соціальні та екологічні аспекти

1. **Поліпшення умов праці:** Підвищення рівня автоматизації зменшить необхідність ручної праці, що покращить умови праці на підприємстві та підвищить безпеку робітників.
2. **Екологічні переваги:** Впровадження нової системи сприятиме більш ефективному використанню ресурсів та зменшенню екологічного навантаження на навколишнє середовище. Зниження викидів та економія енергоресурсів є важливими аспектами екологічної стійкості виробництва.

Таким чином, виконана робота підтвердила доцільність та ефективність запропонованих технічних рішень, що можуть бути впроваджені на реальних підприємствах для покращення процесу автоматизації та підвищення його безпеки. Отримані результати свідчать про можливість значного підвищення якості копчених продуктів, зменшення виробничих витрат та покращення екологічної ситуації. Запропоновані підходи та методи можуть бути використані як базис для подальших досліджень і вдосконалень у галузі харчової промисловості.

### Список використаної літератури

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

2. Гулевский, В., Кузнецов, І. (2019). Сучасні тенденції в автоматизації технологічних процесів. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету, 9 (1). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/234>

3. Святний В.А., Бровкіна Д.Ю. (2016) Сучасні тенденції в автоматизації промислових комплексів. Системні дослідження та інформаційні технології. – № 1. – С. 32-39. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://dspace.nbuu.gov.ua/handle/123456789/131698>

4. Когутяк І.М. Сучасні комп'ютерні технології в автоматизації. Навчальний посібник. – Івано-Франківськ: Факел, 2019. – 279 с.

5. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: Підручник. 2-ге вид., перероб. і дог. – К.: Либідь, 2007. — 656 с.

6. Теорія автоматичного управління: Навчальний посібник [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»; уклад.: О. Й. Штіфзон, П. В. Новіков, В.П. Бунь. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 144 с.

7. Автоматизація та комп'ютерні технології систем управління : наук.-допом. бібліогр. покажч. / [упоряд.О. В. Олабоді] ; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. – Київ, 2021. – 171 с.

8. Пушкар, М.С. Проектування систем автоматизації [Текст]: навч. посібник / М.С. Пушкар, С.М. Проценко – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 268 с.

9. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: Навч. посібник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2017. – 344 с.

10. Пушкар, М.С. Проектування систем автоматизації [Текст]: навч. посібник / М.С. Пушкар, С.М. Проценко – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 268 с.

11. Автоматизація технологічних процесів: навчальний посібник / В.М. Синеглазов, І.Ю. Сергеев. – К.: НАУ, 2015. – 444 с.

12. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації [Текст]: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / І. Ш. Невлюдов. Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2017 р. – 444 с.

13. Belichovska K., Belichovska D., Pejkovski Z. Smoke and smoked fish production. Meat Technology. 2019. 60(1). P. 37–43. doi:10.18485/meattech.2019.60.1.6

14. Doe P., Sikorski Z., Haard N., Olley J., Pan B. S. Basic Principles. Fish Drying & Smoking. Production and quality. Lancaster: Tachnomic Publishing Co. 2017. 13–45. doi:10.1201/9780203756003-2.

## Додаток А Документація до схеми автоматизації

### Таблиця А – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
7а	Датчик тиску VEGABAR 18, двопровідна система, вих. сигнал 4-20мА DC	1	
5б, 6б	Виконавчий механізм BELIMO LH24A-SR100, зусилля 150 Н, час повного ходу 150 с, живл.24 В	1	
5а, 6а, 8а	Датчик температури ТЕРА (ТСП гр.100П), діапазон 50 -150 °С з нормуючим перетворювачем ПСТ (0/150) - 100П, діапазон уніфікованого вихідного сигналу постійного струму : 4...20 мА, Споживана потужність, не більше: 0,8 Вт	2	
	<u>Прилади у шафі оператора</u>		
ПЛК	Контролер програмований SIMATIC S7-1500, CPU 1516-3 PN/DP (6ES7516-3AN01-0AB0)	1	
	Модуль дискретного вводу DI 16x24VDC ВА 6ES7 521-1BH10-0AA0	1	16 DI
	Модуль дискретного виводу DQ 16x24VDC/0.5A ВА 6ES7 522-1BH10-0AA0	1	16DO
	Модуль аналогового вводу виводу DQ 16x24VDC/0.5A ВА 6ES7 522-1BH10-0AA0		4 AI/2AQ
	Блоки живлення навантаження (PM) для програмованого контролера S7-1500 та станцій ET 200MP PM 1507 190W, 6EP1 333-4BA00	2	
ПО	Панель оператора TP1900 Comfort 6VA2 124 OUC02-0AX1	1	
P1	Дзвоник електричний, живл. 24 V DC	1	

**Додаток Б Документація до принципової електричної схеми контролю  
та керування електроприводом**

Таблиця Б – Попередній перелік обладнання до принципової  
електричної схеми контролю та керування електроприводом

Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
S1	Аварійна грибовидна червона кнопка з фіксацією, 1NO + 1NC Siemens: 3SU1100-1HB20-1FG0	1	
	<u>Прилади у силовому щиті</u>		
Q1	Автоматичний вимикач захисту двигуна SIEMENS SIRIUS 3RV2021-1KA10, діапазон регульованої теплової уставки 9.0 ... 12.5 А, номінальна потужність 5.5 кВт/ 400В	1	
Q3	Контактор Siemens 3RT2017-1AP1-0CC0, для комутації електродвигунів, 3-полюсний, АС-3, потужність двигуна 5,5кВт/400В, Іном. 12 А	1	
Q2	Автоматичний вимикач Siemens 1-полюсний, 16А, тип В, 6кА (5SL6116-6)	1	
S2	Кнопка 22 мм, кругла, пластикова, червона, без фіксації, 1НЗ Siemens: 3SU1100-0AB20-1CA0	1	
S3	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	1	
S4	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	1	
K1, K2	Проміжне реле Schneider Electric Zelio 4CO, 230В, АС, 6А, LED (RXM4AB2P7PVS)	2	
K3	Проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24В DC, 6А, LED (RXM4AB2BDPVS)	1	
F1	Запобіжник 50F, 1А, 5x20мм K206: 10921	1	

## Додаток В Документація до принципової електричної схеми живлення

Таблиця В – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми живлення

Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
Q1	Двополюсний модульний автоматичний вимикач Сіменс 5SL6 з вимикаючою здатністю 6.0 кА, робоча напруга 400 В АС, номінальний струм 20.0 А, крива спрацювання тип С	1	
T1	Трансформатор ОСМ-1 0,16 220 В/220 В	1	
Q1	Дифавтомат HAGER 25А, 30mA, В, тип С, 6КА	1	
Q2, Q3	Автоматичний вимикач Siemens 1-полюсний, 16А, тип В, 6кА (5SL6116-6)	2	
G1, G2	Блок живлення РМ 1507, Вх. ~ 120/230 В, Вих. = 24 В/3А Siemens: 6EP1332-4BA00	2	
РЕСЕРТ1	Розетка на DIN-рейку Hager SN016, 16А	2	
F2, F3	Запобіжник 50F, 1А, 5x20мм K206: 10921	2	

### Додаток Г Документація до принципової електричної схеми

Таблиця Г – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми

Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>DI</u>		
	Модуль дискретного вводу DI 16x24VDC ВА 6ES7 521-1BH10-0AA0	1	
	<u>DO</u>		
	Модуль дискретного виводу DQ 16x24VDC/0.5A ВА 6ES7 522-1BH10-0AA0	1	
F2	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
P1	Дзвоник електричний, живл. 24 V DC	1	
	<u>AI/AQ</u>		
	Модуль аналогового вводу виводу DQ 16x24VDC/0.5A ВА 6ES7 522-1BH10-0AA0	2	
5а, 6а, 8а	Датчик температури ТЕРА (ТСП гр.100П), діапазон 50 -150 °С з нормуючим перетворювачем ПСТ (0/150) -100П, діапазон уніфікованого вихідного сигналу постійного струму : 4...20 мА, Споживана потужність, не більше: 0,8 Вт	2	
7а	Датчик тиску VEGABAR 18, вих. сигнал 4-20мА DC	1	
5б, 6б	Виконавчий механізм BELIMO LH24A-SR100, зусилля 150 Н, час повного ходу 150 с	1	