

Міністерство освіти і науки України

Одеський національний технологічний університет

Кафедра Автоматизації технологічних, електромеханічних
і робототехнічних систем



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**на тему: «Автоматизація процесу керування охолодження риби в
холодильній камері»**

Здобувач: Ковальчук О.В.
4 курсу, групи А-40

Керівник: доц. Світий І.М.

Консультант:
доц. Світий І.М.
доц. Левінський В.М.
доц. Степанов М.Т.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту.

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

В.о. завідувача кафедри АТЕіРС _____ О.М. Жигайло
(підпис)

Одеса – 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	<u>Навчально-науковий інститут комп'ютерної інженерії, автоматизації, робототехніки та програмування ім. П.М. Платонова</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

Зав. кафедри АТПіРС

І.М. Світій

« 05 » січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувач **Ковальчук Олександр Володимирович**

1. Тема роботи «Автоматизація процесу керування охолодження риби в холодильній камері»
2. Керівник кваліфікаційної роботи Світій Іван Миколайович, к.т.н., доцент.
Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 743-03 від 31.12.2025 р.
3. Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи на кафедру «12» червня 2026 р.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт, комплексне кваліфікаційне завдання (для заочників).
5. Зміст кваліфікаційної роботи (розділи, які потрібно розробити):
Розділ 1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.
Розділ 2. Розробка концептуальної моделі об'єкта управління, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання.
Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів автоматичного регулювання, порівняльний аналіз САР.
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів автоматичного логічного керування технологічною ділянкою.
Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.
Розділ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.
Розділ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.
Розділ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.

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	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 7	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		

7. Дата видачі завдання « 09 » січня 20256 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач Ковальчук 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 Ковальчук О.В.

Прізвище, ініціали

Підпис

Реферат

Кваліфікаційна робота бакалавра Ковальчука Олександра Володимировича «Автоматизація процесу керування охолодження риби в холодильній камері» викладена на 151 сторінці, кількість таблиць 12, рисунків – 127, додатків - 2, джерел з переліку посилань - 20.

В даній кваліфікаційній роботі розглянуто питання модернізації системи автоматичного керування (САК) технологічного процесу охолодження риби. В якості об'єкта дослідження було обрано процес охолодження риби у фреоновій холодильній камері. Основною метою роботи є підвищення ефективності роботи установки за рахунок зменшення енерговитрат та втрат від браку готової продукції.

При виконанні роботи було проведено підвищення якості регулювання температури в камері та температури відпрацьованої води після водяного конденсатора за рахунок побудови системи автоматичного регулювання автономної структури. Для вирішення задачі регулювання було отримано математичну модель процесу. Задачу логічного керування було вирішено за рахунок розробки алгоритму автоматичного керування пуском та зупинкою холодильної камери.

Програмно-технічну реалізацію процесу проведено на базі контролерно-комп'ютерної мережі, основу якої складає програмований логічний контролер Siemens S7-1500 і середовище програмування TIA Portal. Розроблено фрагмент проектної документації на модернізовану систему керування. Опрацьовано питання охорони праці при експлуатації системи.

Ключові слова: охолодження риби, фреонова холодильна камера, система автоматичного регулювання, автономна САК, контролерно-комп'ютерна мережа, SCADA.

Зміст

Перелік умовних позначень.....	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. Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів.....	12
1.2. Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки ТП та технічних засобів, що використовуються для цього.....	22
1.3 Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК.....	23
1.4 Висновки за розділом.....	25
2. Розробка концептуальної моделі об'єкта управління, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання.....	26
2.1 Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання.....	26
2.2 Ідентифікація (розробка моделей) каналів перетворення об'єкта регулювання	28
2.3 Ідентифікація моделей збурень об'єкту регулювання	38
2.4 Реалізація моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним	44
2.5 Висновки за розділом.....	59

3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР.....	60
3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом	60
3.2 Синтез і аналіз системи автоматичного регулювання базової структури	62
3.3. Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз.....	70
3.4 Порівняння САР базової структури з ПД-регуляторами та автономної САР	75
3.5 Висновки за розділом.....	77
4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом.....	80
4.1 Розробка алгоритмів автоматичного управління нормальним пуском та зупинкою установки.....	80
4.2 Розробка алгоритмів автоматичного керування технологічним циклом процесу	82
4.3 Висновки за розділом.....	85
5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.....	86
5.1 Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів і місць їх розміщення.....	86
5.2 Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	87
5.3 Вибір технічних засобів реалізації керуючих дій на технологічний процес і керування обладнанням	89

5.4 Вибір технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі.....	90
5.5 Висновки за розділом.....	95
6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.....	96
6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж.....	96
6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування.....	98
6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання.....	105
6.4 Висновки за розділом.....	108
7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.....	109
7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування.....	109
7.2 Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога.....	111
7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.....	111
7.4 Тестування системи керування.....	118
7.5 Висновки за розділом.....	121
8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці	122
8.1 Характеристики технологічного об'єкта керування та опис основних технічних рішень	122
8.2 Розробка схеми автоматизації	124
8.3 Розробка принципової електричної схеми керуванням електроприводом	126
8.4 Розробка принципової електричної схеми живлення.....	126
8.5 Розробка принципової схеми мережевих підключень.....	127

8.6 Розробка принципових електричних схем підключення до модулів ПЛК.....	127
8.6 Охорона праці при монтажі, налагодженні та експлуатації АСКТП	128
8.9 Висновки за розділом.....	134
Висновок.....	135
Перелік джерел.....	138
Додатки.....	141
Додаток А Документація до схеми автоматизації	141
Додаток Б Документація до принципової електричної схеми.....	143

Перелік умовних позначень, символів, одиниць

АСУТП – автоматична система управління технологічним процесом;

ПК – персональний комп'ютер;

МПК – мікропроцесорний контролер;

САУ – система автоматичного управління;

ФФ – формуючий фільтр;

СП – стохастичний процес;

ОР – об'єкт регулювання;

ТП – технологічний процес;

САР – система автоматичного регулювання;

ЗНВ – зона незначущих відхилень;

КЗ – коригувальний зв'язок;

ЦДП – цифрово-диференційний перетворювач;

ДЦП – диференційно-цифровий перетворювач;

ЦАП – цифрово-аналоговий перетворювач;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

АРМ – автоматизоване робоче місце;

ОП – операторський пункт.

Вступ

Харчова промисловість, зокрема рибна галузь, є одним із критично важливих секторів економіки, що забезпечує населення високоякісними продуктами харчування. Риба та морепродукти належать до категорій продуктів, що швидко псуються, тому збереження їхньої якості, харчової цінності та товарного вигляду безпосередньо залежить від дотримання суворих температурно-вологісних режимів на всіх етапах логістичного ланцюга. Головним інструментом для цього є холодильні камери.

Процес охолодження риби є складним об'єктом керування через його високу теплову інерційність, нелінійність характеристик та залежність від багатьох зовнішніх чинників (початкова температура сировини, об'єм завантаження, температура навколишнього середовища тощо). Традиційні (ручні або напівавтоматичні) методи керування холодильними установками часто призводять до перевитрати електроенергії, усушки продукції (втрати маси) та коливань температури, що знижує термін зберігання риби.

Автоматизація процесу керування охолодженням риби дозволяє мінімізувати вплив людського фактору, забезпечити точність підтримки технологічних параметрів, оптимізувати роботу компресорного та вентиляційного обладнання, а також суттєво знизити енерговитрати. Зважаючи на постійне зростання вартості енергоресурсів та жорсткі вимоги до безпечності харчових продуктів (зокрема, принципів НАССР), впровадження сучасних автоматизованих систем керування (АСК) холодильними камерами є надзвичайно актуальним завданням.

Для якісної реалізації процесу охолодження риби слід розробити, налаштувати і дослідити якісну систему регулювання температурних режимів процесу.

Керування процесом здійснюється з використанням традиційної апаратної автоматики. Отже є значний резерв підвищення ефективності

процесу за рахунок використання досконаліших алгоритмів керування на базі сучасної елементної бази на основі контролерно-комп'ютерних мереж.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення конкурентоздатності підприємства за рахунок підвищення ефективності процесу охолодження риби в холодильній камері шляхом розробки обґрунтованих технічних рішень зі створення модернізованої САР процесом. Для досягнення поставленої мети визначенні завдання:

- проаналізувати процес охолодження риби в холодильній камері як об'єкту керування;
- розробити комплекс його моделей як об'єкту регулювання і провести моделювання для підтвердження відповідності отриманих моделей експериментальним даним;
- розробити варіанти алгоритмів регулювання, провести їхню параметричну оптимізацію, порівняльний аналіз САР, що забезпечують підвищену динамічну точність регулювання регламентованих змінних;
- скласти регламент функціонування та алгоритми автоматичного керування циклом технологічного процесу;
- провести вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом;
- розробити технічну структуру мікропроцесорного ядра системи керування процесом;
- обрати промисловий контролер та його блоки вводу/виводу;
- розробити програми в середовищі TIAPortal, які реалізують алгоритми логічного керування та регулювання;
- виконати роботи в середовищі SCADA - системи розробити програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК процесом охолодження риби в холодильній камері;
- розробити варіант комплексу технічної документації САК.

Рішенню перерахованих вище завдань і присвячена ця кваліфікаційна робота.

Розділ 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 Автоматизація ділянки технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів

Охолодження свіжої риби – це ключовий етап у збереженні її якості, який дає змогу сповільнити біохімічні процеси та розвиток мікроорганізмів, що спричиняють псування продукту. Оптимальною температурою для зберігання охолодженої риби вважається діапазон від 0 до +2°C, що відповідає точці замерзання клітинних соків. За таких умов риба зберігає свіжість від кількох днів до тижня залежно від виду і початкової якості. Технологічна схема процесу охолодження риби в холодильній камері наведена на рис. 1.1.

Риба в камері 1 знаходиться у стелажах 2 і охолоджується у потоці циркулюючого холодного повітря. Циркуляцію повітря в камері забезпечує циркуляційний вентилятор 3. Охолодження повітря відбувається у випарнику 5 за рахунок випаровування рідкого фреону, який подається під тиском через регулюючий вентиль 13 в умови різкого зменшення тиску. У результаті випаровування фреон приймає велику кількість тепла від циркулюючого повітря і переходить в газоподібний стан. Газоподібний фреон з випарника відсмоктується компресором 1 і стискається до 350кПа, віддає частину тепла воді в конденсаторі 1. Температура відпрацьованої води після конденсатора 1 складає 35±2°C. Але у конденсаторі 1 фреон не конденсується, а лише зменшує свій тепловий потенціал. Газоподібний фреон з конденсатора 1 відсмоктує компресор 2, який знову стискає фреон до 350кПа. Фреон потрапляє до конденсатора 2, де втрачає ще частину накопиченого в випарнику тепла і конденсується. Температура відпрацьованої води після конденсатора 2

складає $38 \pm 2^\circ\text{C}$. Рідкий фреон через клапан 13 поступає на форсунку до випарника.

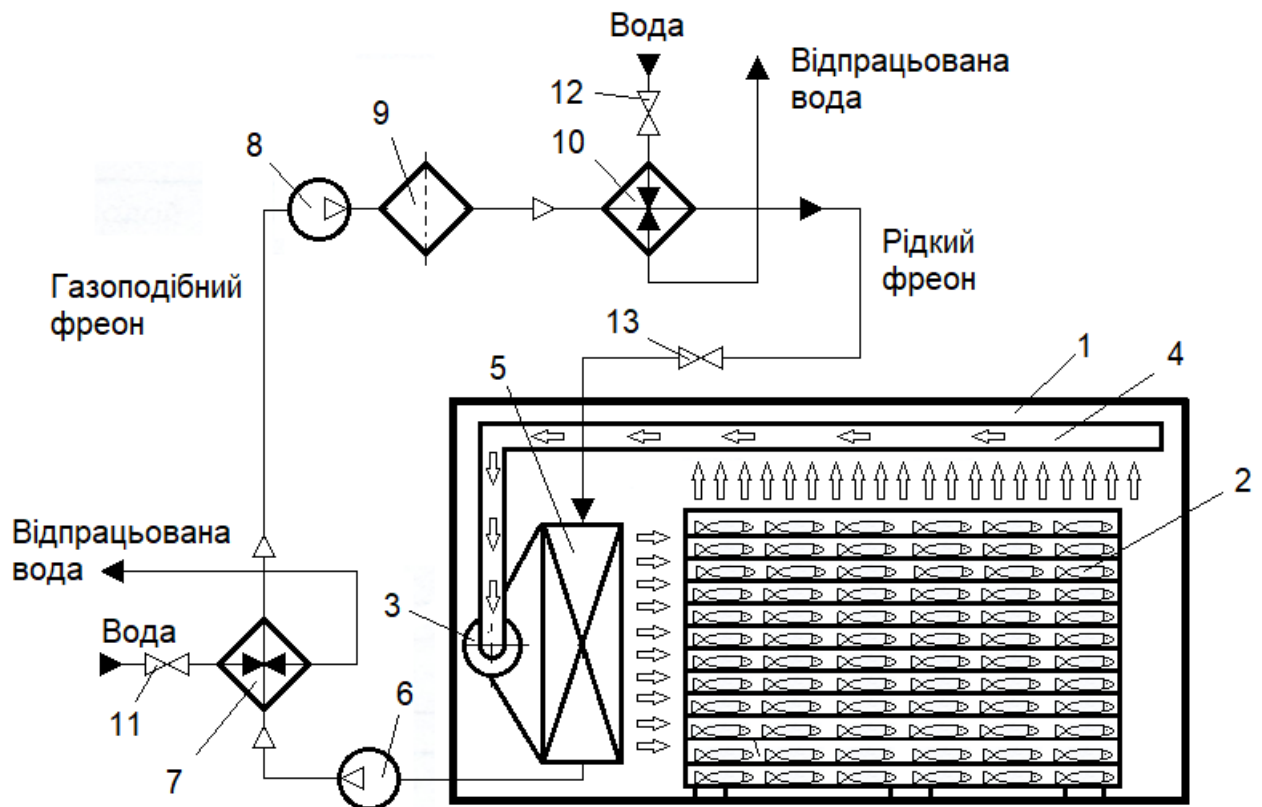


Рис. 1.1 – Схема технологічного процесу охолодження риби в холодильній камері: 1 – камера; 2 – стелажі з рибою; 3 – циркуляційний вентилятор; 4 – повітроводи; 5 – випарник; 6 – компресор 1; 7 – конденсатор 1; 8 – компресор 2; 9 – фільтр; 10 – конденсатор 2; 11, 12, 13 – регулюючий вентиль.

Холодильні камери для риби – це вид охолоджуючого та заморожуючого обладнання, призначеного для зберігання свіжої рибної продукції та морепродуктів.

Зберігання рибної продукції в холодильниках із звичайними вентиляторами призводить до її швидкого висушування та загального погіршення якості. Тому якісні холодильні камери для риби комплектуються спеціальними системами з повільною циркуляцією повітря. Їх наявність особливо важлива для великих промислових складів, оскільки такі системи

дають можливість максимально довго зберігати свіжість продукції. Крім того, в конструкціях рибних холодильних камер використовуються тільки змійовики (основні охолоджуючі елементи) зі спеціальним покриттям. Це важливо тому, що при зберіганні риби виділяється багато парів аміаку, через які звичайні сталеві змійовики швидко роз'їдає корозія.

Промислові холодильні камери для риби – це закриті камери, зібрані з сендвіч-панелей і охолоджуючих машин. Такі камери монтуються на переробних заводах і навіть судах, а також потрібні постачальникам та великим реалізаторам морепродуктів, які встановлюють їх у складських приміщеннях. Завдяки збірним конструкціям, промислові холодильники для риби виготовляють індивідуально.

Обладнання працює в режимі: $-5...-2^{\circ}\text{C}$; $+2...+1^{\circ}\text{C}$.

Для наведеної вище технологічної схеми обладнанням, яке має бути встановлене: компресорні станції (рис. 1.2), конденсатори водяного охолодження; повітроохолоджувачі (рис. 1.3); холодильна автоматика; щит керування.



Рис. 1.2 – Компресор фреоновий Bitzer



Рис. 1.3 – Повітроохолоджувач ЕСО

Мета ведення процесу охолодження 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 охолодження риби доцільно реалізовувати, якщо:

- є достатній запас риби для завантаження камери на 75%;
- установка має бути заповнена фреоном;
- повинна бути електроенергія в колах живлення вентиляторів із середньостатистичними параметрами мережі.

Проведемо параметризацію схеми технологічного процесу, загальна характеристика параметрів і їх взаємозв'язків.

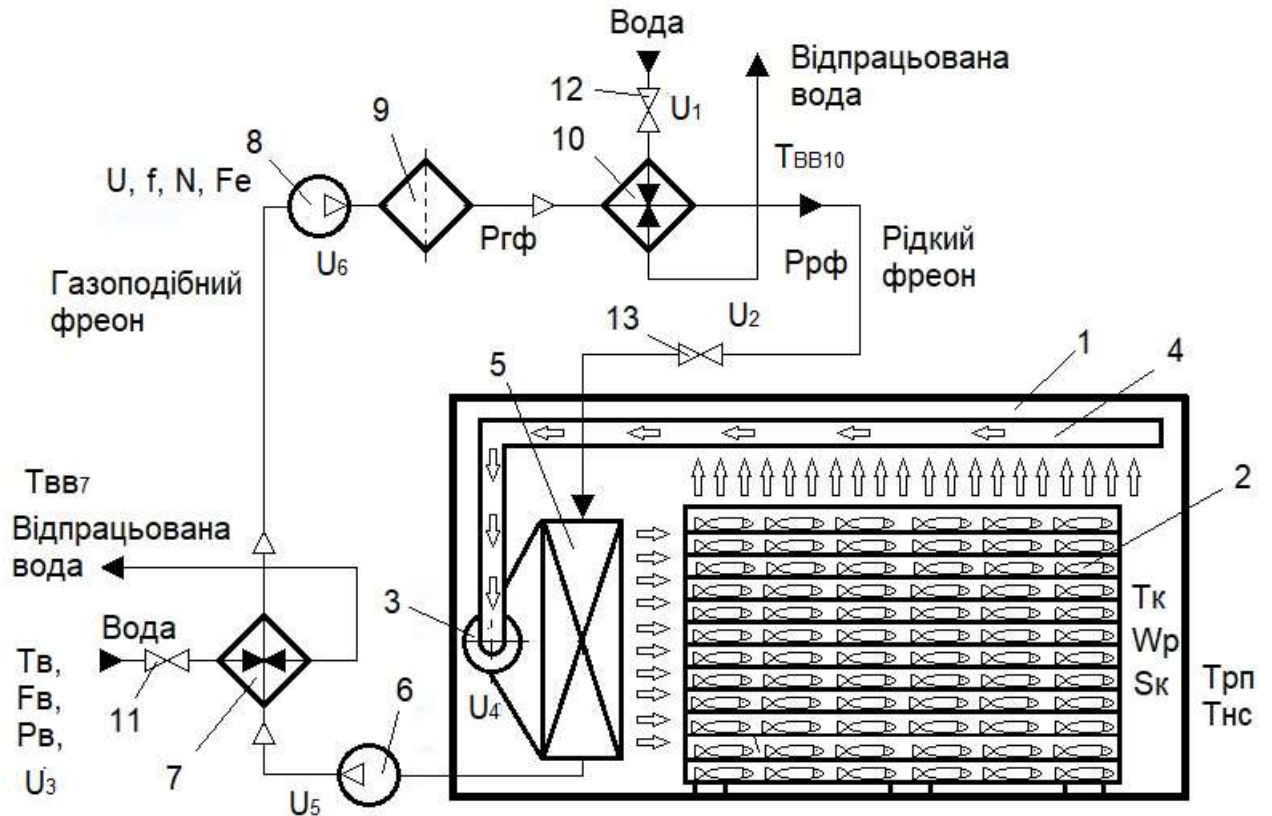


Рис. 1.4 – Параметризована технологічна схема процесу охолодження риби в холодильній камері

T_k – температура в камері, $^{\circ}\text{C}$;

W_p – маса риби в камері, кг;

S_k – швидкість циркуляції повітря в камері, м/с;

T_{rp} – початкова температура риби, $^{\circ}\text{C}$;

T_{ns} – температура повітря навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$;

P_{rf} – тиск рідкого фреону, кПа;

P_{gf} – тиск газоподібного фреону, кПа;

T_v – температура води, $^{\circ}\text{C}$;

F_v – сумарні витрати води, $\text{м}^3/\text{год}$;

P_v – тиск води, кПа;

T_{vv7} – температура відпрацьованої води після конденсатора 7, $^{\circ}\text{C}$;

T_{vv10} – температура відпрацьованої води після конденсатора 10, $^{\circ}\text{C}$;

U – напруга в електромережі, В;

f – частота в електромережі, Гц;

N – сумарна потужність електродвигунів вентилятора і компресорів, кВт;

F_E – витрати електроенергії, кВт · год;

U_1 – положення регулюючого органу подачі води на конденсатор 10, %х.р.о.;

U_2 – положення регулюючого органу подачі рідкого фреону до випарника, %х.р.о.;

U_3 – положення регулюючого органу подачі води на конденсатор 7, %х.р.о.;

U_4 – положення регулюючого органу, що задає продуктивність циркуляційного вентилятора, %х.р.о.;

U_5 – положення регулюючого органу, що задає продуктивність компресора 1, %х.р.о.;

U_6 – положення регулюючого органу, що задає продуктивність компресора 2, %х.р.о.

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

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

T_K – температура в камері, °С;

S_K – швидкість циркуляції повітря в камері, м/с;

T_{BV7} – температура відпрацьованої води після конденсатора 7, °С;

T_{BV10} – температура відпрацьованої води після конденсатора 10, °С.

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних

значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів технологічного обладнання.

Для технологічного процесу охолодження риби такими параметрами є:

$P_{рф}$ – тиск рідкого фреону, кПа;

$P_{гф}$ – тиск газоподібного фреону, кПа.

Техніко-економічний і екологічний регламент визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. Він являє собою набір номінальних та гранично-припустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів. Для технологічного процесу охолодження риби такими параметрами є:

G_v – сумарні витрати води, м³/год;

G_E – витрати електроенергії, кВт · год.

Відхилення параметрів технологічного процесу від регламентних значень, що викликані зміною параметрів, характеризують умови ведення процесу навіть при досить ефективному керуванні процесом, можуть перевищувати встановлені допуски.

Відхилення температури середовища в камері нижче гранично припустимих значень може призвести до економічно недоцільного переохолодження риби, а перевищення температурою верхнього гранично припустимого значення може призвести до недостатнього пригнічення мікробіологічних процесів в продукті і до збільшення виходу браку готової продукції.

Відхилення температури відпрацьованої води після конденсатора 7 нижче гранично припустимого значення може призвести до надмірного зняття тепла з газоподібного фреона і до його конденсації до компресора 2. Відхилення температури відпрацьованої води після конденсатора 7 вище гранично припустимого значення призведе до недостатнього зняття тепла з газоподібного фреона і порушення теплового балансу холодильної машини.

Відхилення температури відпрацьованої води після конденсатора 10 нижче гранично припустимого значення може призвести до надмірного зняття тепла з газоподібного фреону і до порушення теплового балансу холодильної машини. Відхилення температури відпрацьованої води після конденсатора 10 вище гранично припустимого значення призведе до недостатнього зняття тепла з газоподібного фреону і порушення режиму конденсації фреону.

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 – Таблиця регламентів

Назва параметрів	Позначення	Одиниці вимірювання	Номінальне значення параметру	Припустимі відхилення від номіналу		
				Тривалі	Короточасні	
				величина	величина	час, сек
Температура відпрацьованої води після конденсатора 10	T_{BV10}	°C	38	± 1	± 3	30
Температура середовища в камері	T_k	°C	0	$\pm 0,5$	± 2	50

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 визначеними параметрами і можуть бути (для зручності) згруповані за деякими ознаках.

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. Для технологічного процесу охолодження риби до цієї групи параметрів віднесемо:

T_{rp} – початкова температура риби, °C;

W_p – маса риби в камері, кг.

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного встаткування ззовні й витрачається на зміну властивостей продуктів. Для технологічного процесу охолодження риби до цієї групи параметрів віднесемо:

T_{nc} – температура повітря навколишнього середовища, °C;

T_v – температура води, °C;

P_v – тиск води, кПа;

U – напруга в електромережі, В;

f – частота в електромережі, Гц.

Механічні (або інші специфічні) параметри технологічного обладнання характеризують стан її робочих органів. Для технологічного процесу виробництва фруктово-ягідної начинки до цієї групи параметрів віднесемо:

N – сумарна потужність електродвигунів вентилятора і компресорів, кВт;

U_1 – положення регулюючого органу подачі води на конденсатор 10, %х.р.о.;

U_2 – положення регулюючого органу подачі рідкого фреону до випарника, %х.р.о.;

U_3 – положення регулюючого органу подачі води на конденсатор 7, %х.р.о.;

U_4 – положення регулюючого органу, що задає продуктивність циркуляційного вентилятора, %х.р.о.;

U_5 – положення регулюючого органу, що задає продуктивність компресора 1, %х.р.о.;

U_6 – положення регулюючого органу, що задає продуктивність компресора 2, %х.р.о.

Параметризована схема технологічного процесу має змістовний характер. Формалізація опису взаємозв'язків між параметрами технологічного процесу досягається за рахунок переходу до формалізованої параметричної схеми (рис. 1.5). При цьому ті параметри, що відбивають мету функціонування об'єкта моделювання і додаткові вимоги до нього, тобто ті параметри, що регламентовані, будуть вихідними, а параметри, що відбивають умови функціонування об'єкта - вхідними. Зв'язок між вхідними і вихідними параметрами - причинно-наслідковий.

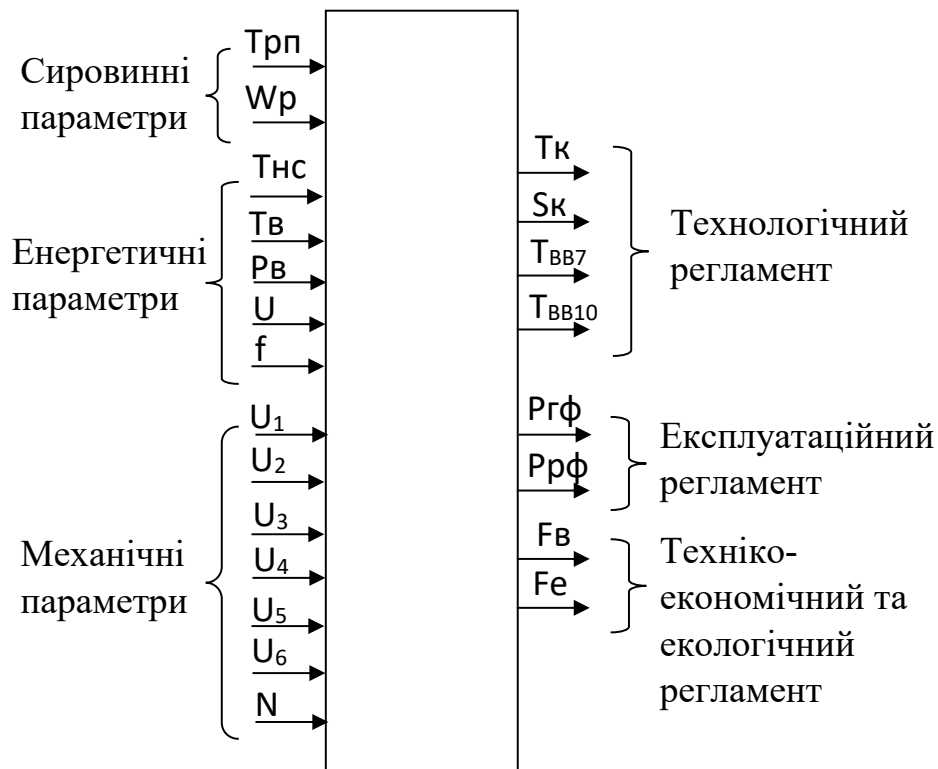


Рис. 1.5 – Параметрична схема процесу охолодження риби

В автоматичному режимі діють усі прилади захисту і автоматичного керування. При досягненні любым з контрольованих параметрів небезпечних значень від відповідного реле поступає сигнал на релейну схему автоматичного захисту і керування АЗК і компресор зупиняється.

Пуск і зупинку компресора в залежності від температури кипіння аміаку в циркуляційному ресивері або випарнику здійснює терморегулятор (встановлюється на ресивері і на схемі не показаний). Для розвантаження електродвигуна при пуску застосований автоматично діючий байпас з соленоїдним клапаном 1СВ і зворотній клапан КО. Розвантаження досягається за рахунок перепуску аміаку зі сторони нагнітання у всмоктуючий трубопровід. Для економії охолоджуючої води і попередження конденсації аміаку в циліндрах при зупинці компресора встановлено автоматично керований соленоїдний клапан 2СВ.

В напівавтоматичному режимі діють тільки прилади захисту, а пуск і зупинка компресора відбуваються вручну. При ручному режимі всі пристрої автоматики відключаються і роботою компресора керує обслуговуючий персонал.

Перехід з автоматичного режиму на напівавтоматичний здійснюється перемикачем ПР, вимикання захисту – перемикачем ВЗ.

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

Система автоматичного керування охолодженням риби в холодильній камері розробляється з метою поліпшення техніко-економічних показників роботи підприємства за рахунок оперативного контролю ходу технологічного процесу, поліпшення ритмічності виробництва, ведення процесів у раціональному режимі, збереження показників якості охолодженої риби.

Основні показники роботи холодильної камери пов'язані з витратами електроенергії та втратами від браку.

Основною задачею процесу є зберігання риби з мінімальними втратами якості. Для виконання даної умови необхідно чітко підтримувати такі технологічні параметри як температуру в камері та температуру відпрацьованої води на виході із конденсатора фреону.

У результаті впровадження системи автоматизації:

1. Буде використаний більш досконалий ПІД-закон регулювання температур, що приведе до підвищення якості регулювання: на 15% зменшиться час перехідного процесу, буде ліквідовано відхилення, зменшиться на 20% інтегральний показник якості.

2. Будуть впроваджені канали передачі сигналів, що забезпечує автономність контурів регулювання.

Економічна мета – підвищення конкурентноздатності та основних показників економічної діяльності підприємства за рахунок упровадження заходів щодо автоматизації.

Робоча гіпотеза – впровадження в промислову експлуатацію системи керування технологічним процесом охолодження риби в холодильній камері дозволить поліпшити технологічні показники роботи підприємства, зменшити втрати якості риби при зберіганні.

Система керування рибохолодильником реалізується на базі мікропроцесорних засобів.

Система повинна реалізувати наступні функції:

а) інформаційні:

- збір і обробка інформації, що надходить від об'єкта;
- сигналізація роботи обладнання;
- оперативне відображення інформації;
- збереження інформації.

б) керуючі:

- стабілізація технологічних параметрів;

- вибір режиму керування;
- автоматизацію пуску, нормальної та аварійної зупинки обладнання.

1.4 Висновки за розділом

Технологічний процес охолодження риби в холодильній камері є ключовим процесом зберігання свіжої риби. Підвищення ефективності саме цього процесу здатне дати суттєвий економічний ефект. Тому саме цей процес було обрано в якості об'єкту для модернізації системи керування. Провівши аналіз ходу технологічного процесу, можна зробити висновок, що саме на цій ділянці технологічної схеми, можна істотно змінити техніко-економічні показники виробництва в цілому, такі як зменшення питомих енерговитрат та втрат від браку готової продукції.

Виходячи з вище викладеного, при впровадженні для процесу охолодження риби в холодильній камері модернізованої системи керування на базі мікропроцесорної техніки, яка буде ефективно контролювати і керувати процесом, потрібно домогтися: зниження витрат електроенергії та виходу браку готової продукції. Для цього слід буде поліпшити якість регулювання температури в камері та відпрацьованої води після конденсатора, удосконалити існуючі алгоритми логічного керування, замінити існуючу елементно-технічну базу на більш нові засоби керування.

Розділ 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.

Декомпозиція загальної мети функціонування підприємства для більш низьких рівнів виробничої ієрархії приводить до наступних цілей:

а) на рівні окремого технологічного процесу – координація роботи технологічного обладнання, на якому реалізується процес;

б) на рівні окремих одиниць технологічного обладнання – виконання технологічних, експлуатаційних і техніко-економічних регламентів, зокрема – оптимізація роботи окремих одиниць обладнання.

Звідси задачу керування можна розділити на:

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

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

Для процесу охолодження риби в якості регульованих координати доцільно обрати температуру відпрацьованої води після конденсатора 10 $T_{ВВ10}$, як кінцевого показника утилізації тепла, та температуру в камері T_k , як ключовий технологічний параметр, що безпосередньо впливає на якість готового продукту.

Необхідною умовою вирішення задач керування є наявність управляючих дій, що повинні бути входними змінними (координатами) ОК. Для задач регулювання, такими управляючими діями, насамперед, є дії, що цілеспрямовано можуть змінювати витрати матеріальних і енергетичних потоків, а саме – положення регулювальних органів. Кількість управляючих дій повинно бути рівним кількості регульованих змінних.

Для процесу охолодження риби до керуючих дій доцільно віднести положення регулюючих органів, що дроселюють потоки води на конденсатор 10 (U_1), і рідкого фреону на випарник камери (U_2).

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 охолодження риби збурень, контроль яких суттєво б підвищив якість регулювання температур на інтервалі часу виявлено не було. Тому всі входні дії, крім керуючих дій, віднесемо до неконтрольованих збурень. Детерміновану складову цих збурень адитивно прикладемо до керуючих дій, а стохастичну складову – до регульованих координат.

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

Структурна схема процесу охолодження риби наведена на рис. 2.1.

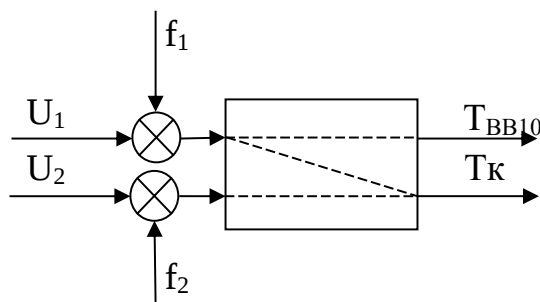


Рис. 2.1 – Структурна схеми об'єкту регулювання

На рисунку:

$T_{\text{ВВ10}}$ – температура відпрацьованої води після конденсатора 10, °C;

$T_{\text{к}}$ – температура середовища в камері, °C;

U_1 – положення регулюючого органу подачі води до конденсатора 10, %х.р.о.;

U_2 – положення регулюючого органу подачі рідкого фреону до випарника камери, %х.р.о.;

f_1, f_2 – неконтрольовані збурення.

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

Виходячи з фізичної суті технологічного процесу охолодження риби можна зробити висновок, що розглянуті процеси є об'єктами регулювання, що мають властивість самовирівнювання.

Збільшення керуючої дії (положення регулюючого органу подачі води) призведе до зменшення температур відпрацьованої води і температури в камері. Збільшення керуючої дії (положення регулюючого органу подачі рідкого фреону до випарника) призведе до зменшення температур середовища в камері. При цьому зміною температури відпрацьованої води на виході з конденсатора 10 можна знехтувати через подвійне стискання і охолодження. Досліджуваний нами процес сушіння кавового екстракту супроводжується, в основному двома взаємозалежними процесами – масообміну і теплообміну; ці процеси, в свою чергу, протікають при постійній зміні значень великої кількості коефіцієнтів і параметрів – поверхні нагрівання, коефіцієнта теплопередачі, шорсткості поверхні нагрівання, термічного опору, теплового потоку і багатьох інших.

Однак діапазон зміни регульованих змінних досить малий, тому в цих діапазонах можемо прийняти припущення про лінеаризації статичних

властивостей каналів керування і збурень. Причому після прийняття даного рішення ми можемо виражати (для зручності процесу регулювання) статичні властивості каналів не в абсолютних вхідних і вихідних значеннях каналу перетворення, а через їх відхилення від деяких початкових значень.

Перш ніж проводити активний експеримент, складемо план проведення активного експерименту, у повній відповідності з яким і будемо проводити експеримент:

1. За допомогою зміни управляючих дій домагаємося значень регульованих координат, що перебували б в околицях їх номінальних значень. Для нашого ОК значенням $U_1 = 60 \text{ \%х.р.о.}$ та $U_2 = 60 \text{ \%х.р.о.}$ будуть відповідати значення регульованих координат $T_{ВВ10} = 39^\circ\text{C}$, $T_k = 0^\circ\text{C}$.

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

3. Змінимо управляючу дію U_1 ступінчастим чином на $10\text{ \%х.р.о.}$, відзначивши при цьому момент початку його зміни.

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

5. Повертаємо U_1 у вихідний стан, чекаємо закінчення перехідних процесів в каналах та настання сталих режимів.

6. Змінимо управляючу дію U_2 ступінчастим чином на $10\text{ \%х.р.о.}$, відзначивши при цьому момент початку його зміни.

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

Результати активного експерименту наведені на рис. 2.2

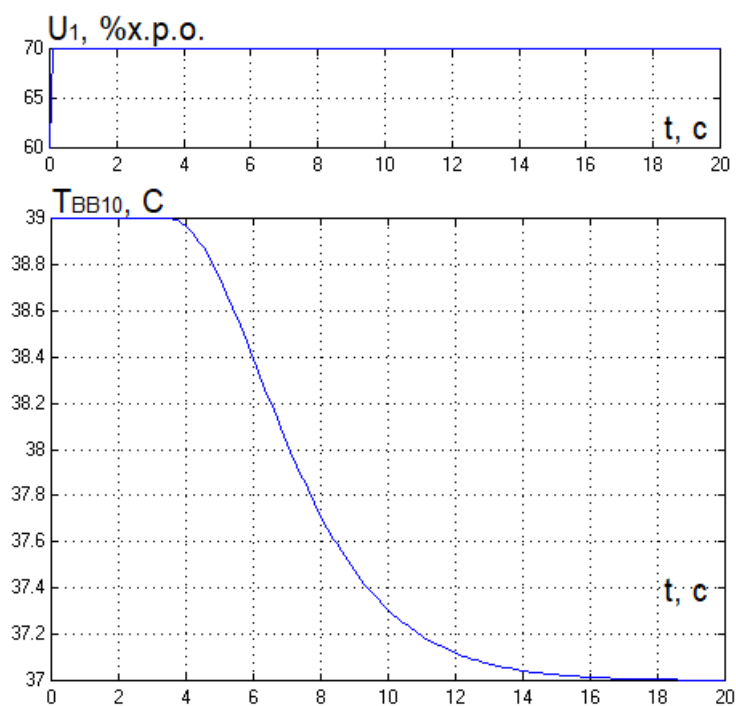


Рис. 2.2 – Перехідна характеристика ОК за каналом « $U_1 - T_{BB10}$ »

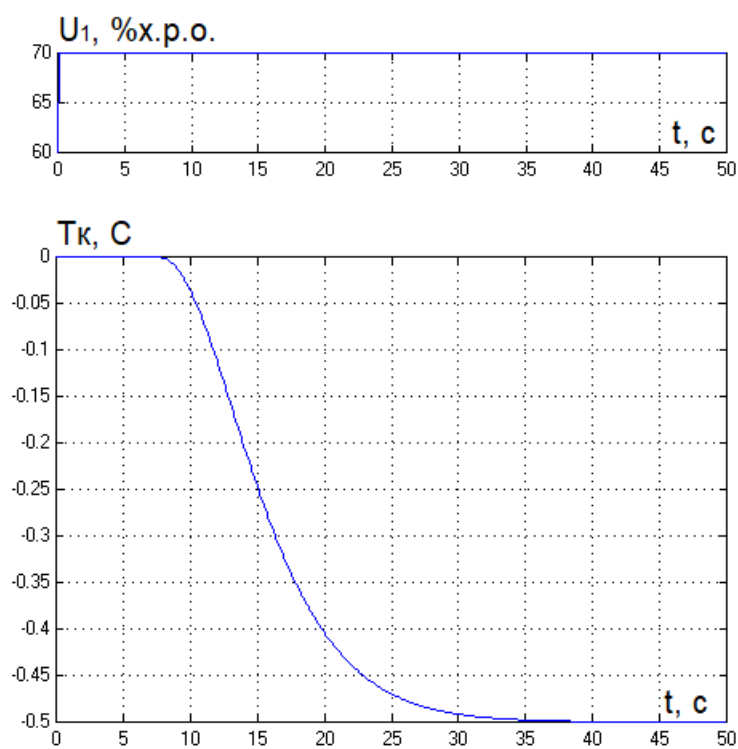


Рис. 2.3 – Перехідна характеристика ОК за каналом « $U_1 - T_K$ »

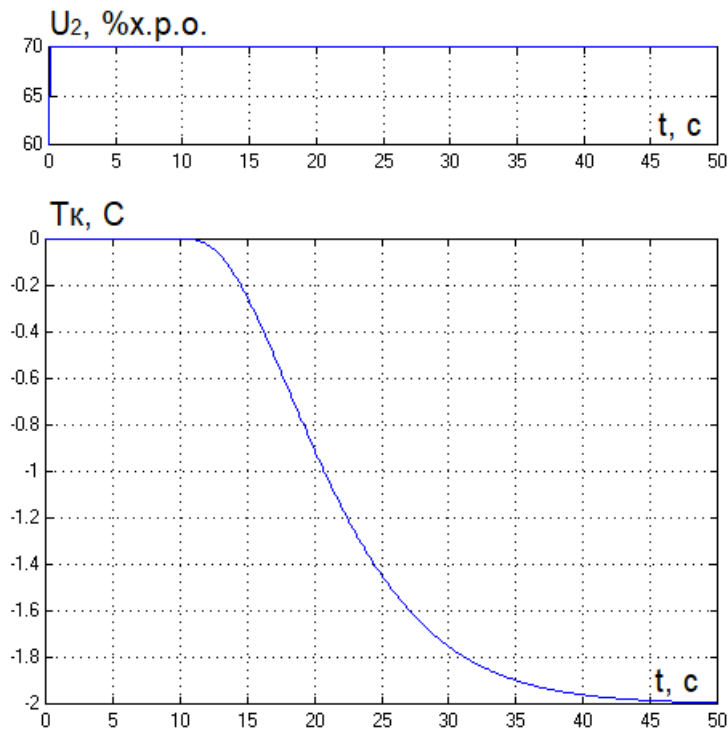


Рис. 2.4 – Перехідна характеристика ОК за каналом « $U_3 - T_B$ »

Як видно з рис. 2.2 – 2.4 об'єкт керування по всіх каналах має статичні властивості, а це значить, що його модель може бути представлена послідовним з'єднанням двох ланок: статичної аперіодичної ланки 1-го або 2-го порядку і ланки запізнювання. Тоді передаточна функція моделі об'єкта буде мати вигляд:

$$W^o(p) = \frac{K_o \cdot e^{-\tau_o p}}{T_o p + 1} \text{ – модель 1-го порядку}$$

або

$$W^o(p) = \frac{K_o \cdot e^{-\tau_o p}}{(T_o p + 1)^2} \text{ – модель 2-го порядку}$$

Для проведення параметричної ідентифікації моделей першого і другого порядків будемо використовувати методику «двох загальних точок», тому що ця методика є найбільш точною, тобто отримані в результаті її використання математичні моделі об'єкта регулювання характеризуються найбільшою адекватністю експериментальним перехідним характеристикам об'єкта регулювання.

Параметрична ідентифікація моделі об'єкту керування по каналу
«U₁ – T_{BB10}»

$$W_{U_1-T_{BB10}}^O(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{Tp + 1}; \quad W_{U_1-T_{BB10}}^O(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{(Tp + 1)^2}$$

$$k = \Delta T_{BB10} / \Delta U_1 = (37 - 39) / (70 - 60) = -2 / 10 = -0,2 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}$$

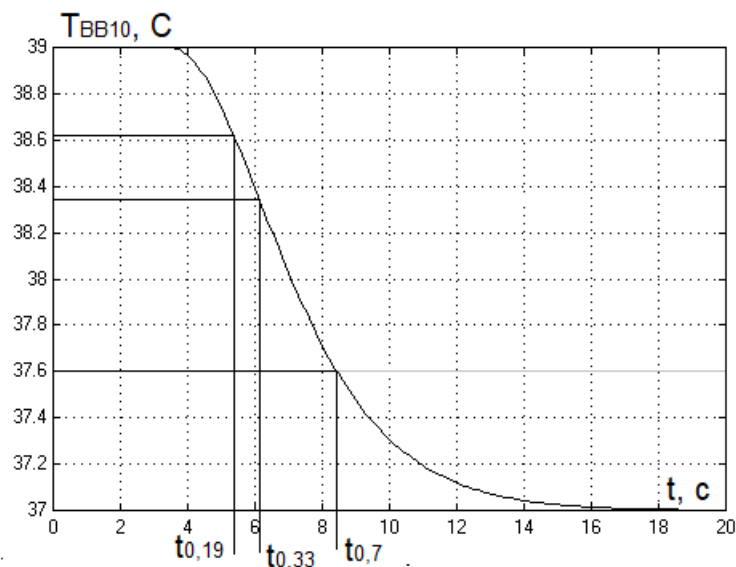


Рис. 2.5 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом «U₁ – T_{BB10}»

Модель 1-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 6,14 - 8,44) / 2 = 5 \text{ c}$$

$$t_{0,33} = 6,14 \text{ c}$$

$$t_{0,7} = 8,44 \text{ c}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (8,44 - 5) / 1,2 = 2,9 \text{ c}$$

$$W_{U_1-T_{BB10}}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-5p}}{2,9p + 1}$$

Модель 2-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 5,37 - 8,44) / 2 = 3,8 \text{ c}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (8,44 - 3,8) / 2,4 = 1,9 \text{ c}$$

$$t_{0,19} = 5,37 \text{ c}$$

$$W_{U_1-T_{BB10}}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-3,8p}}{(1,9p + 1)^2}$$

Канал «U₁ – T_к»

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

$$k = \Delta T_K / \Delta U_1 = (-0,5 - 0) / (70 - 60) = -0,5 / 10 = -0,05 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{х.р.о.}$$

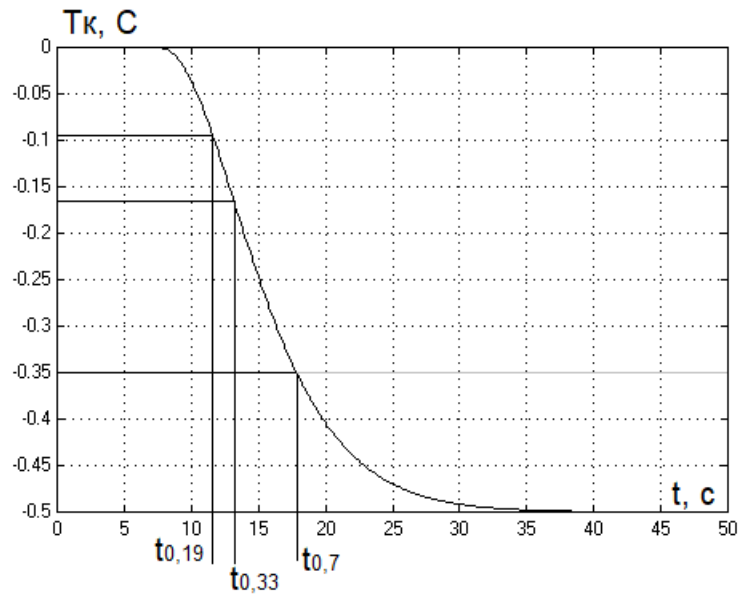


Рис. 2.6 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом «U₁ – T_к»

Модель 1-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 13,17 - 17,87) / 2 = 10,8 \text{ c}$$

$$t_{0,33} = 13,17 \text{ c}$$

$$t_{0,7} = 17,87 \text{ c}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (17,87 - 10,8) / 1,2 = 5,9 \text{ c}$$

$$W_{U_1-T_K}^O(p) = \frac{-0,05 \cdot e^{-10,8p}}{5,9p + 1}$$

Модель 2-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 11,61 - 17,87) / 2 = 8,5 \text{ c}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (17,87 - 8,5) / 2,4 = 3,9 \text{ c}$$

$$t_{0,19} = 11,61 \text{ c}$$

$$W_{U_1-T_K}^O(p) = \frac{-0,05 \cdot e^{-8,5p}}{(3,9p + 1)^2}$$

Канал « $U_2 - T_K$ »

$$W_{U_2-T_K}^O(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{Tp + 1}; \quad W_{U_2-T_K}^O(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{(Tp + 1)^2}$$

$$k = \Delta T_K / \Delta U_2 = (-2 + 0) / (70 - 60) = -2 / 10 = -0,2 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{х.р.о.}$$

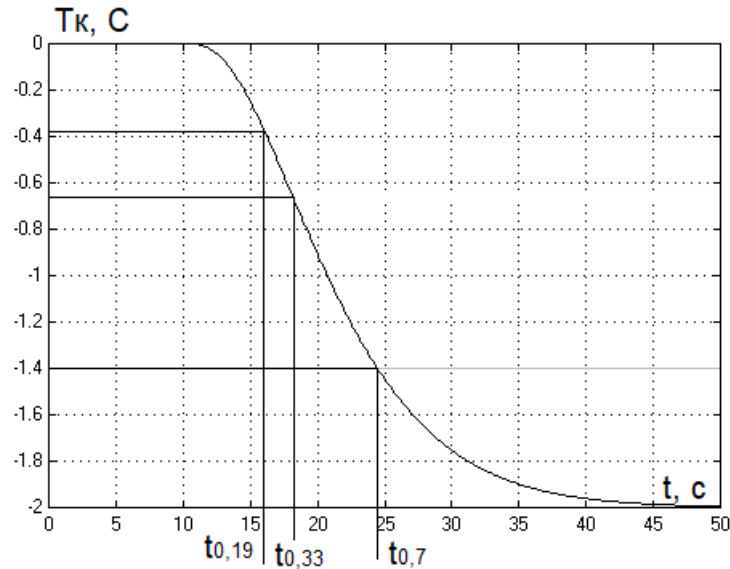


Рис. 2.7 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом « $U_2 - T_K$ »

Модель 1-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 18,2 - 24,5) / 2 = 15 \text{ с}$$

$$t_{0,33} = 18,2 \text{ с}$$

$$t_{0,7} = 24,5 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (24,5 - 15) / 1,2 = 7,9 \text{ с}$$

$$W_{U_2-T_K}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-15p}}{7,9p + 1}$$

Модель 2-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 16,1 - 24,5) / 2 = 11,9 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (24,5 - 11,9) / 2,4 = 5,25 \text{ с}$$

$$t_{0,19} = 16,1 \text{ с}$$

$$W_{U_2-T_K}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-11,9p}}{(5,25p + 1)^2}$$

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 $y = \Phi(\vec{x})$ на основі експериментальних даних, де $\vec{x} \in \{\vec{u}, \vec{f}\}$ – вхідні змінні ОУ.

Значення y , отримані в результаті експерименту, завжди мають випадкову складову, обумовлену дією некерованих і неконтрольованих змінних, похибками вимірювання y та $\vec{x}$. У цьому випадку залежність розум = $y^M = \hat{y} = \Phi(\hat{\vec{x}})$ визначається з використанням статистичних ("усредняющих") 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.

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

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

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

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

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

Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК зведено в таблицю 2.1 і на рис. 2.8.

Табл. 2.1 – Результати експерименту для визначення статичних характеристик ОК

№ експерименту	U ₁ , %х.р.о.	U ₂ , %х.р.о.	T _{ВВ10} , °C	T _к , °C
1	60	60	39	0
2	70	60	37	– 0,5
3	80	60	35	– 1
4	50	60	41	0,5
5	40	60	43	1
6	60	70	39	– 2
7	60	80	39	– 4
8	60	50	39	2
9	60	40	39	4

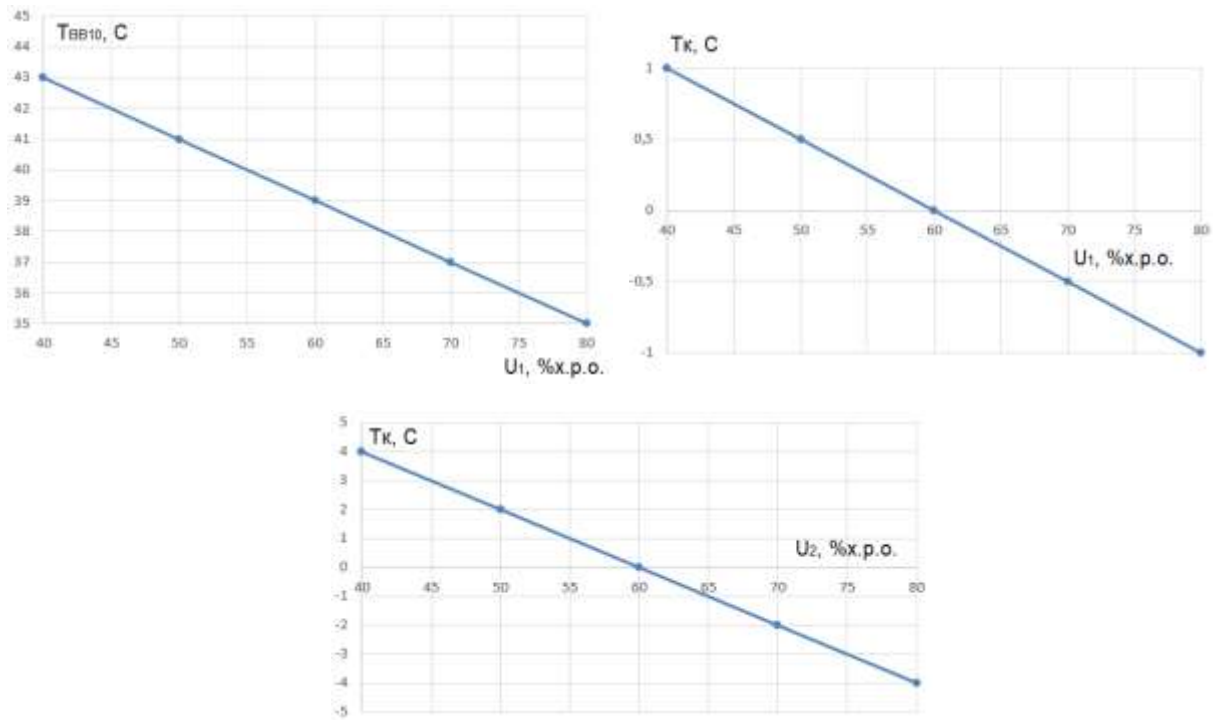


Рис. 2.8 – Статичні характеристики ОК

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

Для проведення параметричної ідентифікації моделі статички ОК доцільно використовувати метод найменших квадратів. Суть методу полягає в пошуку такого вектора параметрів $\bar{a}^*$ 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 $\bar{x}_i$, і вихідної змінної моделі об'єкту y_m , обчисленої при тих же значеннях $\bar{x}$, тобто

$$\vec{a}^* = \arg \min \left\{ I(\vec{a}) = \sum_{i=1}^n (y_i(\vec{x}_i) - y^M(\vec{a}, \vec{x}_i))^2 \right\}$$

Проводимо структурну ідентифікацію моделей каналів ОК.

$$T_{BB10} = a_1 \cdot U_1 + a_0$$

$$T_K = b_1 \cdot U_1 + b_2 \cdot U_2 + b_0$$

Проводимо параметричну ідентифікацію моделей каналів ОК.

$$a_1 = \Delta T_{BB10} / \Delta U_1 = (37 - 39) / (70 - 60) = -2 / 10 = -0,2^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}$$

$$a_0 = T_{BB10} - a_1 \cdot U_1 = 39 + 0,2 \cdot 60 = 39 + 12 = 51^\circ\text{C}$$

$$T_{BB10} = -0,2 \cdot U_1 + 51$$

$$b_1 = \Delta T_K / \Delta U_1 = (-0,5) / (70 - 60) = -0,5 / 10 = -0,05^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}$$

$$b_2 = \Delta T_K / \Delta U_2 = (-2) / (70 - 60) = -2 / 10 = -0,2^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}$$

$$b_0 = T_K - b_1 \cdot U_1 - b_2 \cdot U_2 = 0 + 0,05 \cdot 60 + 0,2 \cdot 60 = 0 + 3 + 12 = 15^\circ\text{C}$$

$$T_K = -0,05 \cdot U_1 - 0,2 \cdot U_2 + 15$$

2.3 Ідентифікація моделей збурень об'єкта регулювання

Слід зазначити, що неконтрольовані збурення на ОК не є чітко певними фізичними параметрами. Вони є певною математичною абстракцією, про яку відомою є лише реакція системи на них. Діапазон їх зміни доцільно прив'язувати до фізичного діапазону зміни управляючих дій. З теорії автоматичного керування відомо, що фізичний діапазон зміни управляючої дії лежить у межах 0...100 %x.p.o., а діапазон зміни неконтрольованих збурень може становити приблизно 10...15% від діапазону зміни управляючої дії, тобто становить приблизно 10...15 %x.p.o. (якщо неконтрольовані збурення прикладені до управляючої дії), або $(10...15) \cdot K_0$ (якщо неконтрольовані збурення прикладені до регульованої координати).

В інженерній практиці стохастичні моделі вхідних дій звичайно представляють у формі випадкового процесу з декількома адитивними складовими, наприклад

$$f(t) = \bar{f}(t) + \tilde{f}^{\text{II}}(t) + \tilde{f}^{\text{C}}(t) + \tilde{f}^{\text{III}}(t)$$

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

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

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

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

Варто враховувати, що складові $\bar{f}(t)$, $\tilde{f}^{\Pi}(t)$, $\tilde{f}^c(t)$ і їх сума є відносно низькочастотними діями, несприятливі наслідки яких САК повинна і може компенсувати. Складова $\tilde{f}^{\text{ш}}(t)$ пов'язана або із шумами у вимірювальних каналах, або з високочастотними збуреннями, наслідки яких, у силу особливостей каналів керування ОК, скомпенсовані бути не можуть. В обох випадках $\tilde{f}^{\text{ш}}(t)$ в САК повинні бути відфільтровані (не «пропущені» на вхід управляючого пристрою). Для вирішення цього завдання і повинні бути отримані властивості $\tilde{f}^{\text{ш}}(t)$.

Початок ідентифікації пов'язаний з тим, що відповідно до обраної моделі $f(t)$ прийнято рішення про віднесення складових реального сигналу до тієї або іншої складової моделі.

Для того, щоб зробити це відносно надійно, необхідно мати апріорну інформацію про властивості об'єкту за каналами керування. Якщо представити їх моделлю першого порядку із запізненням τ_0 , то за співвідношенням середніх періодів T_{Π} цих складових і τ_0 , можна провести поділ сигналу:

якщо для складової $T_{\Pi} < 4\tau_0$, то її доцільно віднести до $\tilde{f}^{\text{ш}}(t)$;

якщо для складової $40\tau_0 > T_{\Pi} > 4\tau_0$, то її доцільно віднести до

$$\tilde{f}^c(t) + \tilde{f}^{\Pi}(t)$$

якщо для складової $T_{\Pi} > 40\tau_0$, то її доцільно віднести до $\bar{f}(t)$

Моделі неконтрольованих збурень доцільно представляти як суму чотирьох складових. Причому, детерміновану складову (f_1 , f_2) доцільно

привести до управляючої дії, а квазидетерміновану та стохастичну складові (f_c) доцільно привести до регульованої координати.

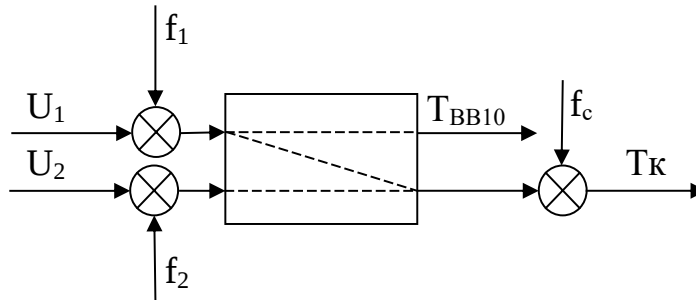


Рис. 2.9 – Структурна схема додання координатних збурень

Сплануємо пасивний експеримент для збору інформації про координатні збурення, подання реалізацій записаних у ході експерименту змінних.

Оскільки можливості отримати реальні експериментальні дані немає, то з навчальною метою можна скористатися генератором даних. Для генерації результатів пасивного експерименту з метою дослідження неконтрольованих збурень треба бути готовими до відповіді на наступні питання.

Номер в журналі викладача – 6

T_k ($u = 0\% \text{ x.p.o.}$) = 20°C

$T_k^{\text{ЗДН}} = 0^\circ\text{C}$

$\tau_{U_2 - T_k} = 15 \text{ с.}$

Результати генерації випадкового процесу, що відповідає реакції ОК на неконтрольовані збурення, наведені на рис. 2.10.

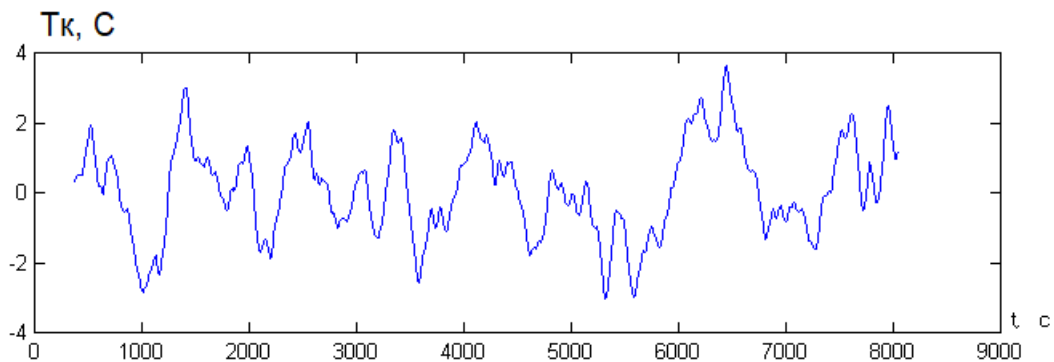


Рис. 2.10 – Результати генерації випадкового процесу за T_k

Для ідентифікації моделей неконтрольованих координатних збурень можна використовувати програму IdSoft середовища Матлаб.

Першим етапом ідентифікації моделі неконтрольованих збурень є оцінювання імовірнісних характеристик відповідних випадкових процесів, а саме щільності імовірності, математичного очікування, дисперсії, середньоквадратичного відхилення, середньоквадратичного періоду (СКП), кількості СКП у реалізації випадкового процесу, нормованої кореляційної функції і спектральної щільності випадкового процесу.

Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, що відповідає неконтрольованим збуренням, наведені на рис. 2.11.

За результатами оцінювання щільності імовірності випадкового процесу обирається його модель. В якості моделі обираємо нормальний випадковий процес:

$$p(f) = \frac{1}{\sigma_f \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(f-m_f)^2}{2\sigma_f^2}}$$

За результатами оцінювання нормованих кореляційних функцій з набору типових вибираємо два варіанти моделей кореляційних функцій і спектральних щільностей:

Модель №5

$$R_f(\tau_k) = D_f \cdot e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot \cos(\beta \cdot |\tau_k|)$$

$$S_f(\omega) = \frac{D_f \cdot 2\alpha \cdot (\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \alpha^2 - \beta^2)^2 + 4\alpha^2 \omega^2}$$

Модель №6

$$R_f(\tau_k) = D_f \cdot e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot \left(\cos(\beta \cdot |\tau_k|) + \frac{\alpha}{\beta} \cdot \sin(\beta \cdot |\tau_k|) \right)$$

$$S_f(\omega) = \frac{D_f \cdot 4\alpha \cdot (\alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \alpha^2 - \beta^2)^2 + 4\alpha^2 \omega^2}$$

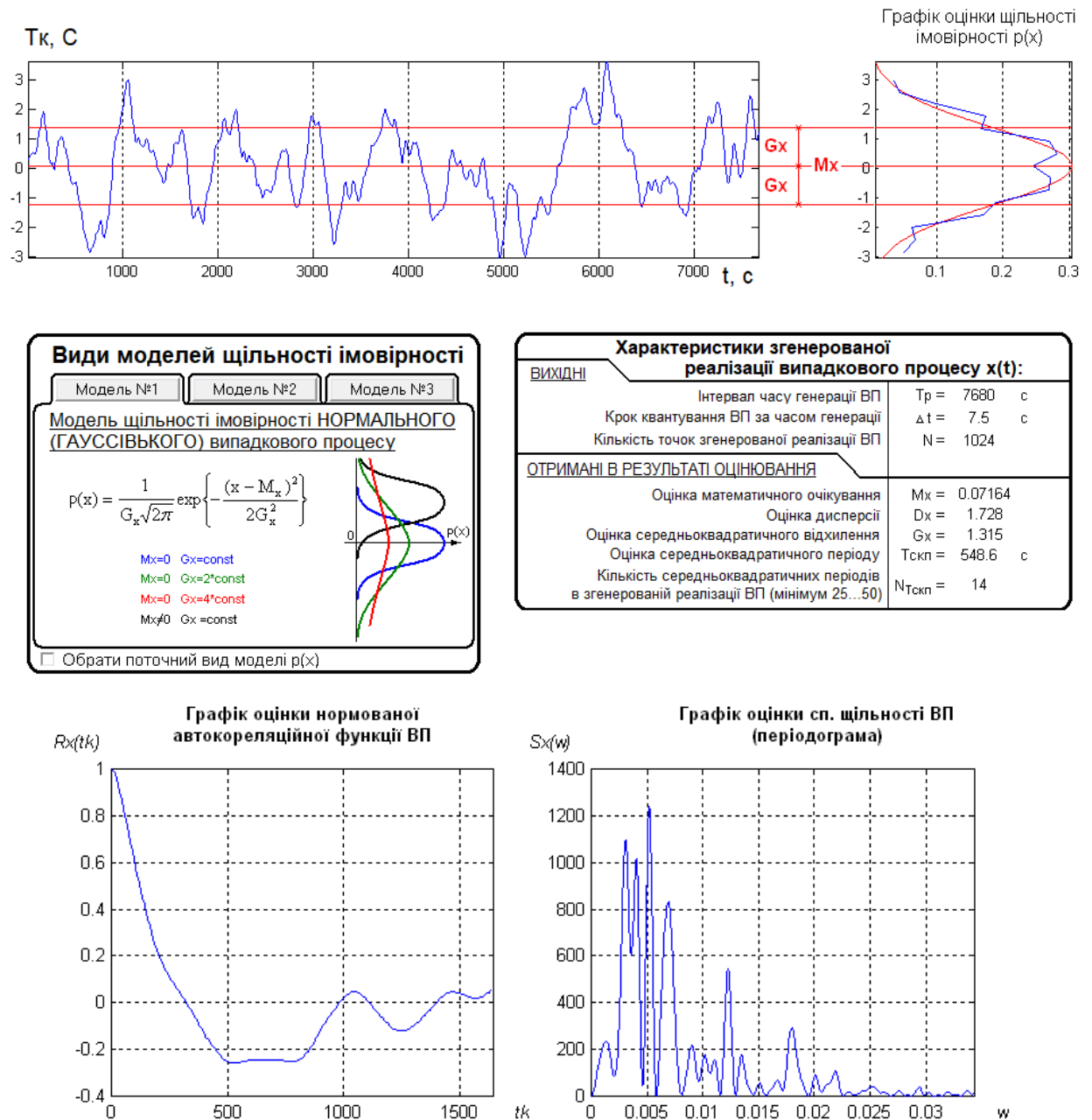


Рис. 2.11 – Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного неконтрольованим збуренням

Параметрами моделей випадкових складових збурень є коефіцієнт спаду α і коефіцієнт коливальності β . Пошук значень цих параметрів і називають параметричною ідентифікацією моделі стохастичної складової збурень. Вона ведеться, як правило, у два етапи: 1) вибір початкових наближень параметрів $\hat{\alpha}^0, \hat{\beta}^0$; 2) пошук значень параметрів, які забезпечують найкраще наближення моделі до її оцінки.

При виборі початкових наближень параметрів можна користуватися рекомендаціями, які викладені в програмі. При параметричній оптимізації моделі використовується пошукова процедурами, що використовує квадратичний критерій. При цьому вирішується задача

$$\tilde{a}^* = \arg \min \left[\left(\hat{R}_{\tilde{f}}(\tau_K) - R_{\tilde{f}}^M(\tau_K) \right)^2 \right], \quad \bar{a} = \{\alpha, \beta\}^T.$$

Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень наведені на рис. 2.12.

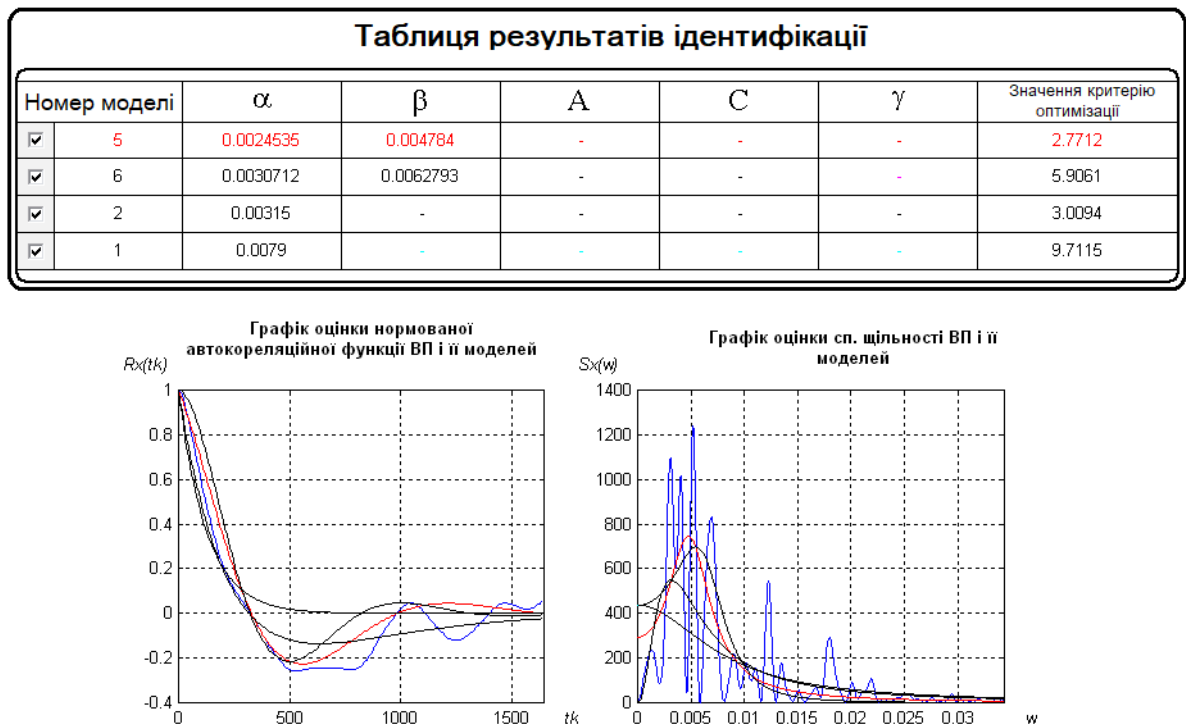


Рис. 2.12 – Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень

Як видно з результатів ідентифікації моделі неконтрольованих збурень (рис. 3.6) кращою є модель №5, тому що для цієї моделі меншими є середньоквадратичні відхилення моделі від оцінок кореляційних функцій.

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

На цьому етапі роботи в пакеті Simulink середовища Матлаб для всіх каналів ОК розробляється схема моделювання як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку. Результати параметричної ідентифікації моделей каналів ОК зводимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати параметричної ідентифікації моделей каналів ОК

Канал ОК	Модель 1-го порядку	Модель 2-го порядку
«U ₁ – T _{ВВ10} »	$W_{U_1-T_{ВВ10}}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-5p}}{2,9p + 1}$	$W_{U_1-T_{ВВ10}}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-3,8p}}{(1,9p + 1)^2}$
«U ₁ – T _К »	$W_{U_1-T_K}^O(p) = \frac{-0,05 \cdot e^{-10,8p}}{5,9p + 1}$	$W_{U_1-T_K}^O(p) = \frac{-0,05 \cdot e^{-8,5p}}{(3,9p + 1)^2}$
«U ₂ – T _К »	$W_{U_2-T_K}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-15p}}{7,9p + 1}$	$W_{U_2-T_K}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-11,9p}}{(5,25p + 1)^2}$

Для каналу «U₁ – T_{ВВ10}» передаточні функції моделей 1-го та 2-го порядку ОК мають вигляд:

$$W_{U_1-T_{ВВ10}}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-5p}}{2,9p + 1}; W_{U_1-T_{ВВ10}}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-3,8p}}{(1,9p + 1)^2}$$

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 готують експериментальні дані в табличному виді і реалізують їх у компоненті Look-Up-Table. Для досліджуваного ОК експериментальні дані зведено в таблицю 2.3. Схема моделювання каналу управління ОК наведена на рис. 2.13. Результати моделювання наведені на рис. 2.14.

Табл. 2.3 – Експериментальні дані за каналом « $U_1 - T_{BB10}$ »

t, c	$T_{BB10}, ^\circ\text{C}$	t, c	$T_{BB10}, ^\circ\text{C}$	t, c	$T_{BB10}, ^\circ\text{C}$	t, c	$T_{BB10}, ^\circ\text{C}$
0	39	6,5	38,205	10	37,3065	17	37,008
3,4	39	7	38,0265	11	37,192	18	37
4	38,963	7,5	37,862	12	37,1178	19	37
4,5	38,876	8	37,7145	13	37,071	20	37
5	38,741	8,5	37,586	14	37,042		
5,5	38,574	9	37,476	15	37,025		
6	38,391	9,5	37,383	16	37,015		

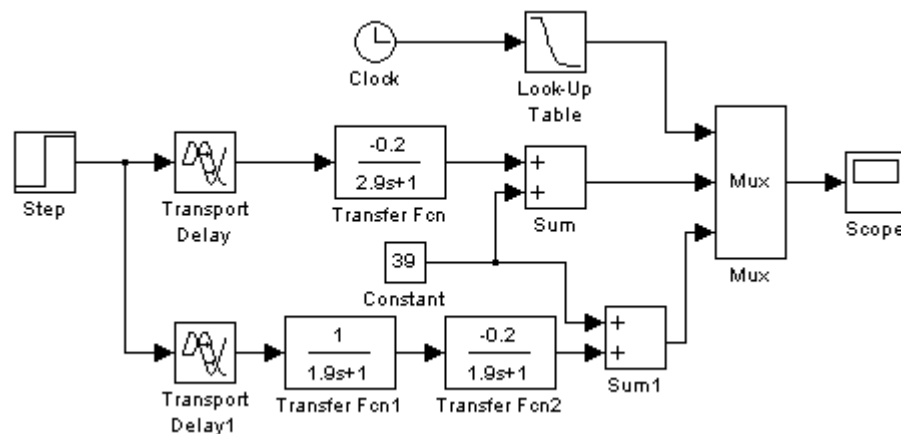
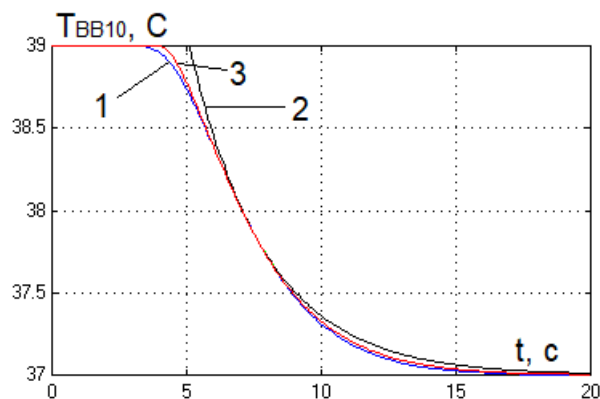
Рис. 2.13 – Схема моделювання ОК за каналом « $U_1 - T_{BB10}$ »

Рис. 2.14 – Результати моделювання ОК по каналу « $U_1 - T_{BB10}$ »: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

Для каналу « $U_1 - T_K$ » передаточні функції моделей 1-го та 2-го порядку ОК мають вигляд:

$$W_{U_1-T_K}^O(p) = \frac{-0,05 \cdot e^{-10,8p}}{5,9p+1}; W_{U_1-T_K}^O(p) = \frac{-0,05 \cdot e^{-8,5p}}{(3,9p+1)^2}$$

Експериментальні дані за каналом зведено в таблицю 2.4, схема моделювання наведена на рис. 2.15, а результати моделювання – на рис. 2.16.

Табл. 2.4 – Експериментальні дані за каналом « $U_1 - T_k$ »

t, c	$T_k, ^\circ\text{C}$	t, c	$T_k, ^\circ\text{C}$	t, c	$T_k, ^\circ\text{C}$	t, c	$T_k, ^\circ\text{C}$	t, c	$T_k, ^\circ\text{C}$
0	0	14	-0,2027	20	-0,4038	26	-0,4764	35	-0,4978
7,5	0	15	-0,2463	22	-0,4384	28	-0,4857	37	-0,4987
10	-0,0356	16	-0,2865	24	-0,4615	30	-0,4915	40	-0,5
12	-0,1118	18	-0,354	25	-0,4698	32	-0,495	45	-0,5

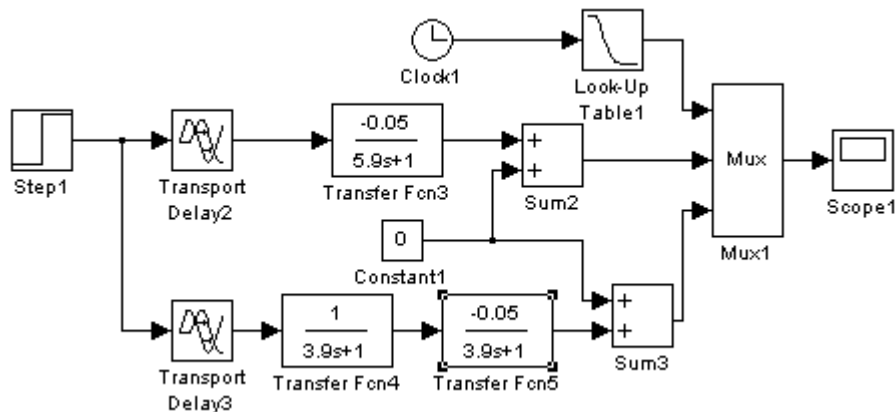


Рис. 2.15 – Схема моделювання каналу управління ОК за каналом « $U_1 - T_k$ »

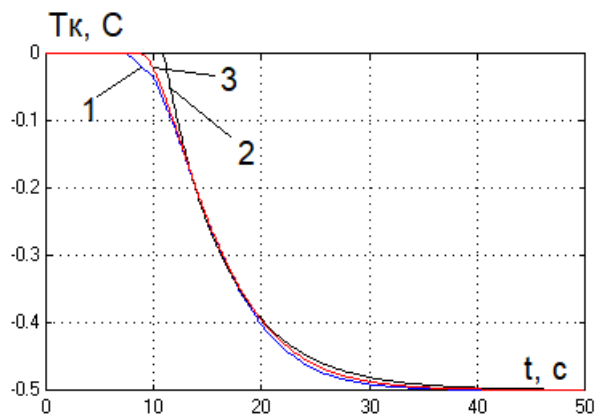


Рис. 2.16 – Результати моделювання ОК за каналом « $U_1 - T_k$ »: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

Для каналу « $U_2 - T_K$ » передаточні функції моделей 1-го та 2-го порядку ОК мають вигляд:

$$W_{U_2-T_K}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-15p}}{7,9p+1}; W_{U_2-T_K}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-11,9p}}{(5,25p+1)^2}$$

Експериментальні дані за каналом « $U_2 - T_K$ » зведено в таблицю 2.5, схема моделювання каналу наведена на рис. 2.17 а результати моделювання – на рис. 2.18.

Табл. 2.5 – Експериментальні дані за каналом « $U_2 - T_K$ »

t, c	T _K , °C	t, c	T _K , °C	t, c	T _K , °C	t, c	T _K , °C
0	0	20	– 0,9026	32	– 1,8256	45	– 1,9855
10,5	0	22	– 1,148	34	– 1,8783	47	– 2
12	– 0,0224	24	– 1,356	35	– 1,8987	50	– 2
14	– 0,1468	25	– 1,4448	37	– 1,9303		
15	– 0,2475	27	– 1,5934	40	– 1,96		
17	– 0,497	30	– 1,7529	43	– 1,9783		

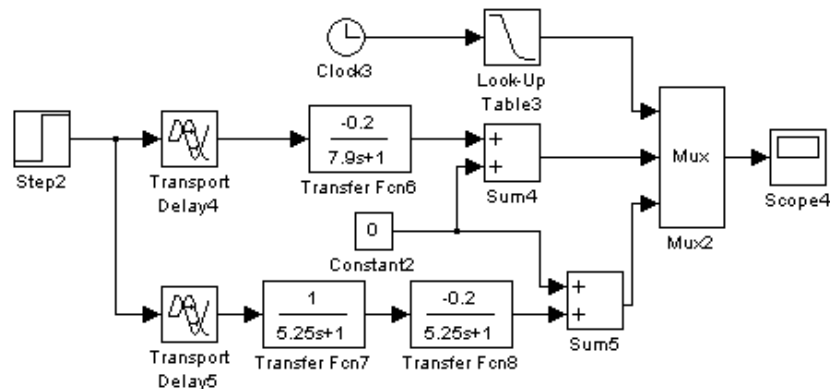


Рис. 2.17 – Схема моделювання каналу управління ОК
за каналом « $U_2 - T_K$ »

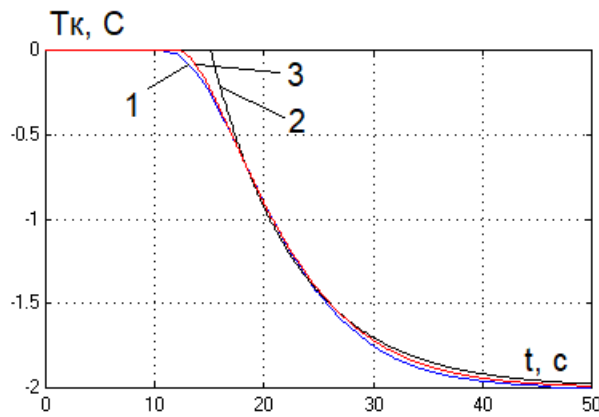


Рис. 2.18 – Результати моделювання ОК за каналом « $U_2 - T_k$ »: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

Як видно з рис. 2.14, 2.16 і 2.18, моделі ОК як 1-го, так і 2-го порядків досить точно описують експериментальні дані, але моделі 2-го порядку точніші.

Моделі статичних характеристик:

$$T_{BB10} = -0,2 \cdot U_1 + 51$$

$$T_k = -0,05 \cdot U_1 - 0,2 \cdot U_2 + 15$$

Для виконання цього етапу роботи скористаємося можливостями Матлаб (Simulink). Експериментальні дані для перевірки моделі статички наведені в таблиці 2.1, схеми моделювання наведені на рис. 2.19, а результати моделювання – на рис. 2.20.

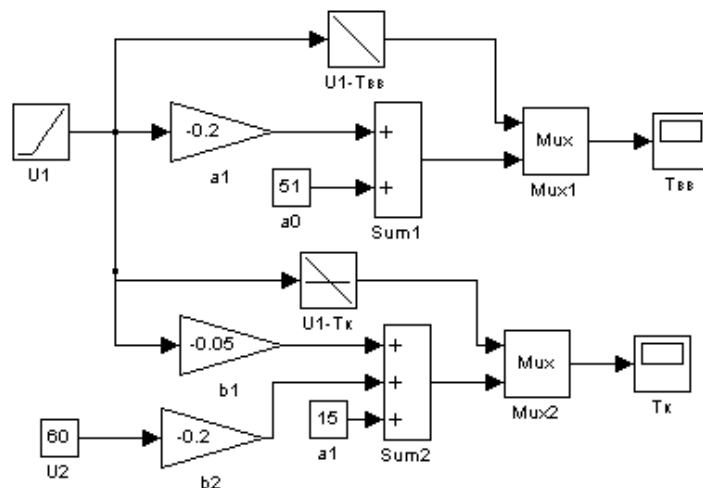


Рис. 2.19 – Схеми моделювання статичних характеристик ОК

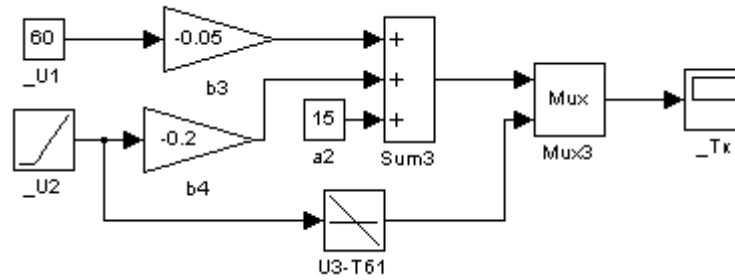


Рис. 2.19 (закінчення) – Схеми моделювання статичних характеристик ОК

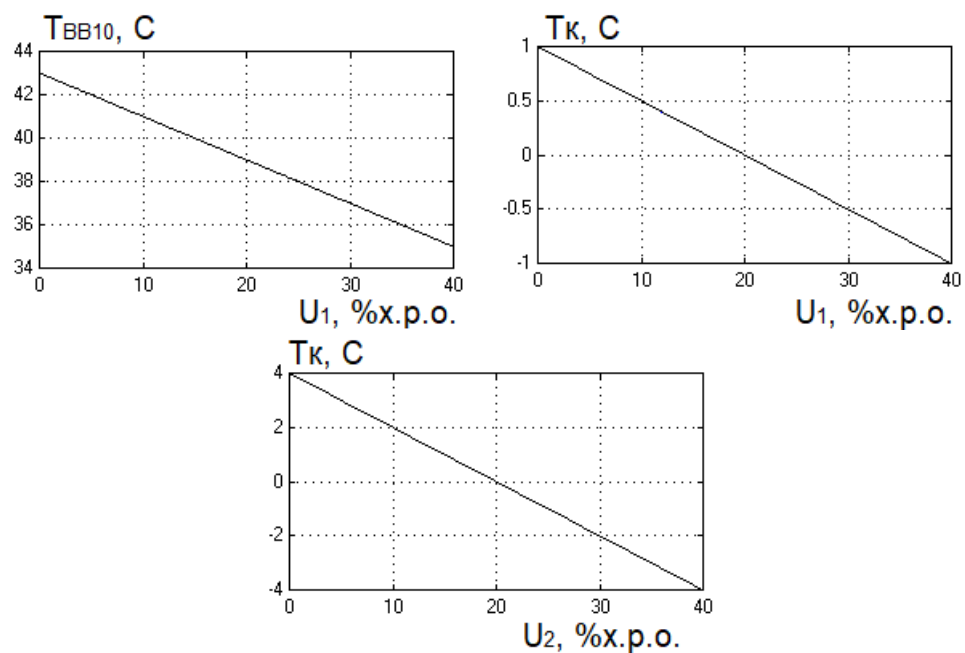


Рис. 2.20 – Результати моделювання статичних характеристик ОК

Як видно із графіків (рис. 2.20), моделі статичних характеристик точно відтворюють експериментальні дані.

Повна модель каналів ОК містить у собі моделі каналів управління з урахуванням статичної характеристики. Схема моделювання каналів ОК наведена на рис. 2.21, а результати моделювання – на рис. 2.22 – 2.25.

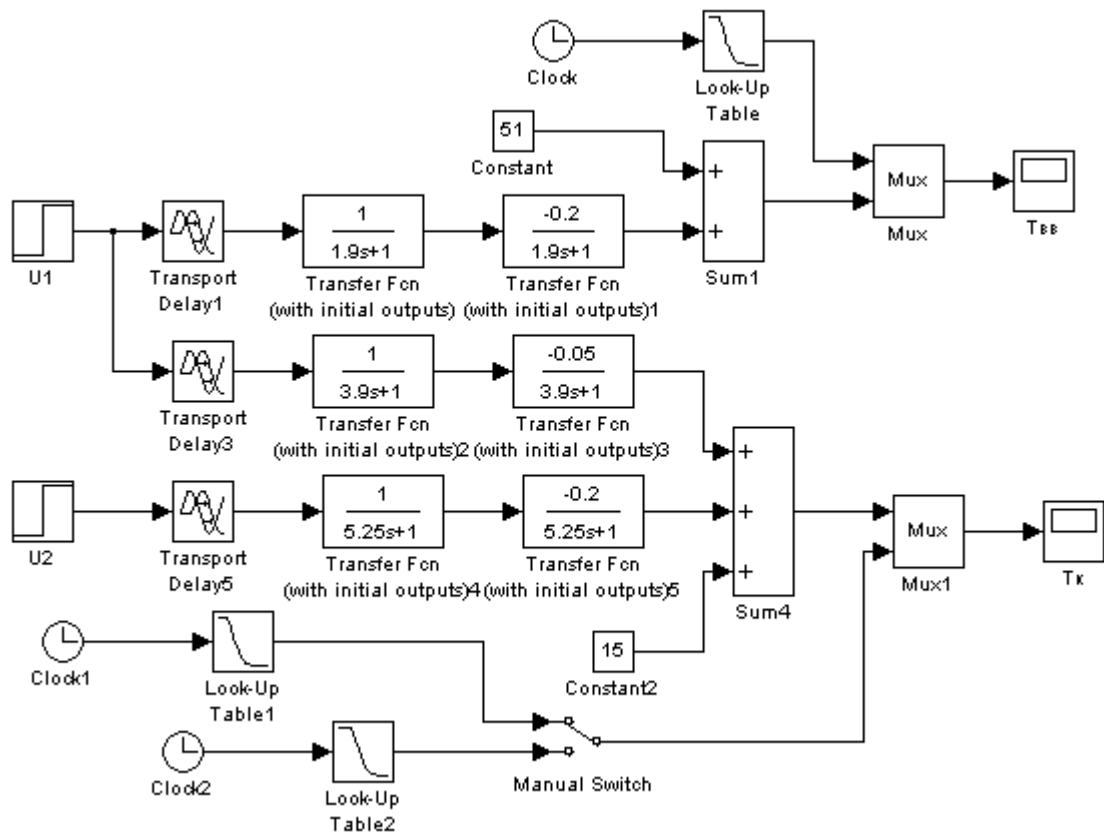


Рис. 2.21 – Схема моделювання повної моделі каналів ОК

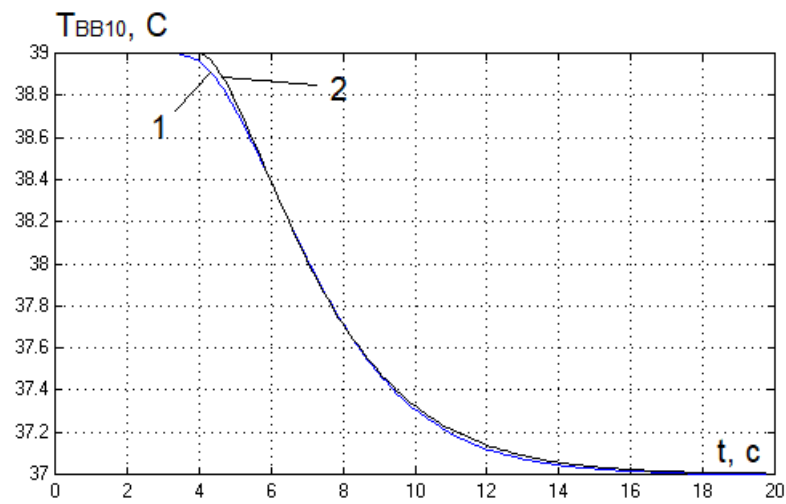


Рис. 2.22 – Результати моделювання за каналом «U₁ – T_{BV10}»: 1 – експериментальні дані, 2 - модель

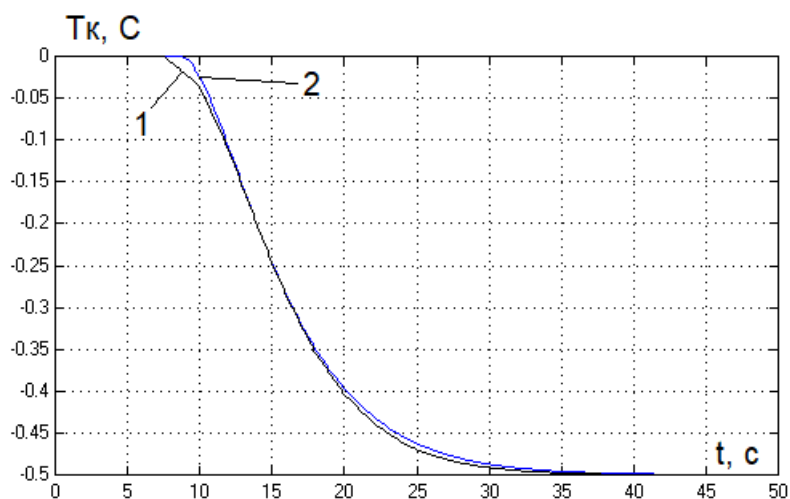


Рис. 2.23 – Результати моделювання за каналом « $U_1 - T_K$ »: 1 – експериментальні дані, 2 - модель

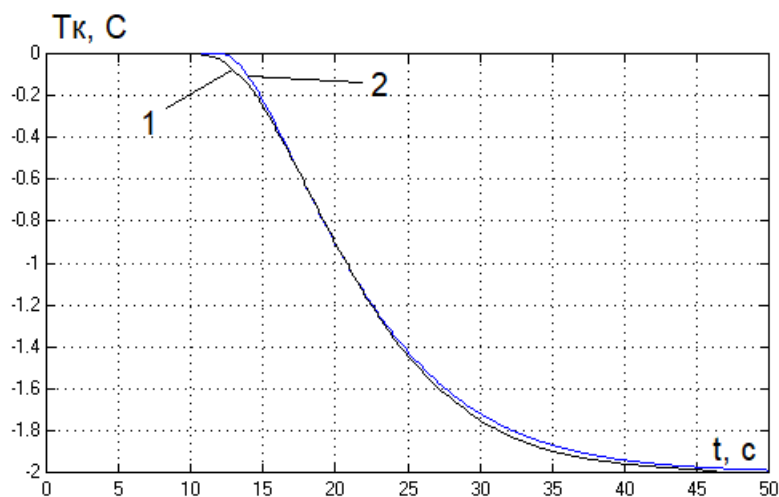


Рис. 2.24 – Результати моделювання за каналом « $U_2 - T_K$ »: 1 – експериментальні дані, 2 - модель

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

Для відтворення моделі збурень як стохастичних процесів (СП) із заданими властивостями будемо використовувати метод формуючому

фільтру. Його можна представити у вигляді такої структурної схеми моделювання

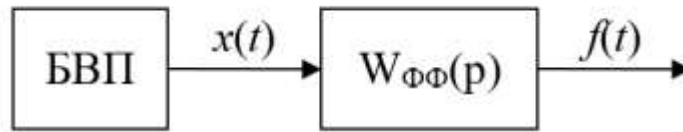


Рис. 2.25 – Структурна схема моделі СП

Для відтворення моделі стохастичного процесу із заданими властивостями спочатку треба визначити передаточну функцію формуючого фільтра $W_{\text{ФФ}}(p)$. Відомо, що спектральні щільності вхідного $x(t)$ і вихідного $f(t)$ сигналів взаємозалежні

$$|W_{\text{ФФ}}(j\omega)|^2 = \frac{S_f(\omega)}{S_x(\omega)} = W_{\text{ФФ}}(j\omega) \cdot W_{\text{ФФ}}(-j\omega)$$

Якщо випадковий процес $x(t)$ має властивості білого шуму, то його спектральна щільність $S_x(\omega) = a = \text{const}$. Вона може бути розрахована за формулою

$$S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 \cdot \Delta t_z}{3},$$

де G_x - середньоквадратичне відхилення процесу $x(t)$, Δt_z – крок генерації випадкового процесу.

Надалі до передаточної функції формуючого фільтра підставляють формули для спектральних щільностей вхідного й вихідного сигналу.

Для моделі №5

$$R_f(\tau_k) = D_f e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot \cos(\beta|\tau_k|); \quad S_f(\omega) = \frac{D_f 2\alpha(\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 + 4\alpha^2\omega^2}$$

$$\begin{aligned}
S_f(j\omega) &= \frac{D_f 2\alpha(-(j)^2 \omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)}{(-(j)^2 \omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 - 4\alpha^2(j)^2 \omega^2} = \\
&= \frac{D_f 2\alpha(\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} + j\omega) \cdot (\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} - j\omega)}{((j^2 \omega^2 + \beta^2 + \alpha^2) + 2\alpha j\omega) \cdot ((j^2 \omega^2 + \beta^2 + \alpha^2) - 2\alpha j\omega)} = \\
&= \frac{\sqrt{D_f 2\alpha}(\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} + j\omega)}{(j\omega)^2 + 2\alpha j\omega + \beta^2 + \alpha^2} \cdot \frac{\sqrt{D_f 2\alpha}(\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} - j\omega)}{(-j\omega)^2 - 2\alpha j\omega + \beta^2 + \alpha^2}
\end{aligned}$$

Бачимо, що
$$W_{\phi\phi}(j\omega) = \frac{\sqrt{2D_f\alpha}(j\omega + \sqrt{\alpha^2 + \beta^2})}{(j\omega)^2 + 2\alpha j\omega + \alpha^2 + \beta^2}.$$

А після заміни

$$W_{\phi\phi}(j\omega) = \frac{\sqrt{2 \cdot D_f \cdot \alpha} \cdot (p + \sqrt{\alpha^2 + \beta^2})}{p^2 + 2\alpha p + \alpha^2 + \beta^2} = \frac{\sqrt{2 \cdot D_f \cdot \alpha} \cdot (\alpha^2 + \beta^2) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} p + 1 \right)}{(\alpha^2 + \beta^2) \cdot \left(\frac{1}{\alpha^2 + \beta^2} p^2 + \frac{2\alpha}{\alpha^2 + \beta^2} p + 1 \right)}$$

Далі маємо
$$W_{\phi\phi}(p) = k \frac{Tp + 1}{T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1},$$

де
$$k = \frac{1}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{2D_f \cdot \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}}, \quad T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}, \quad \vartheta = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}.$$

$$\sigma_x = \sigma_f / 2 = 1,315 / 2 = 0,6575$$

$$\Delta t_\Gamma = \frac{1}{(2 \dots 3)\alpha} = \frac{1}{3 \cdot 0,0024535} \dots \frac{1}{2 \cdot 0,0024535} = 136 \dots 204 \approx 150c$$

$$S_x(\omega) = \sigma_x^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta t_\Gamma}{3} = 0,6575^2 \cdot \frac{2 \cdot 150}{3} = 43,2$$

$$k = \frac{1}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot D_f \cdot \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{1}{43,2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,728 \cdot 0,0024535}{0,0024535^2 + 0,004784^2}} = \frac{1}{43,2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,728 \cdot 0,0024535}{0,0000289}} =$$

$$k = 0,4$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,0024535^2 + 0,004784^2}} = 186 \text{ c}$$

$$\vartheta = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{0,0024535}{\sqrt{0,0024535^2 + 0,004784^2}} = 0,46$$

$$W_{\phi\phi}(p) = 0,4 \cdot \frac{186p + 1}{186^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,46 \cdot 186p + 1}$$

У параметрах блоку БВП необхідно встановити такі параметри:

Налаштування елемента Band-Limited White Noise:

Noise power = $S_x(\omega) = 43,2$;

Sample time = $\Delta t_{\Gamma} = 150$ с;

Seed = 1.

Кількість точок моделювання $N = 1024$

$T_p = N \cdot \Delta t_{\Gamma} = 1024 \cdot 150 = 153\,600$ с

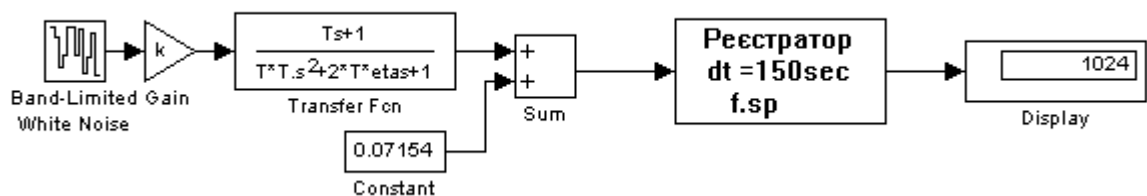
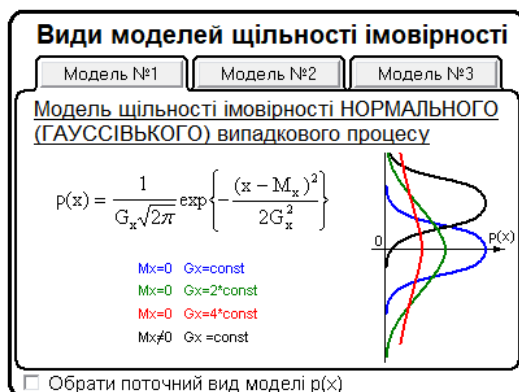
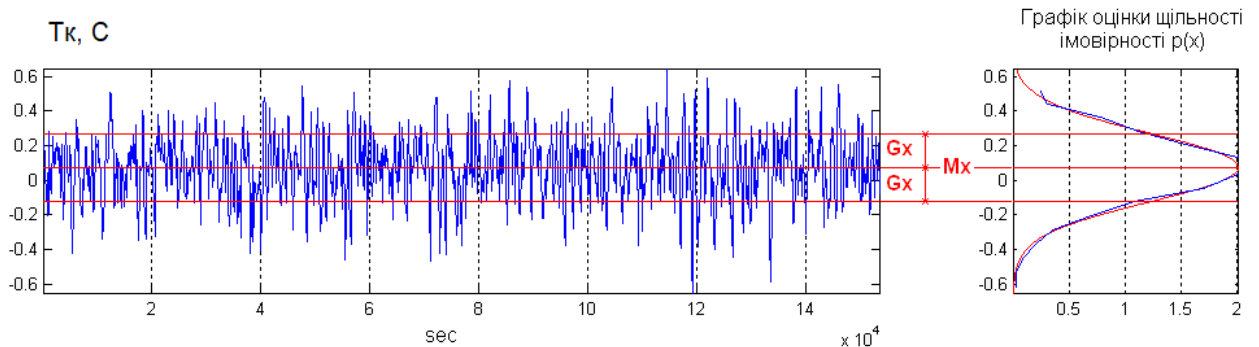


Рис. 2.26 – Схема моделювання для отримання параметрів формуючого фільтра



Характеристики згенерованої реалізації випадкового процесу $x(t)$:	
Вихідні	
Інтервал часу генерації ВП	$T_p = 153600$ sec
Крок квантування ВП за часом генерації	$\Delta t = 150$ sec
Кількість точок згенерованої реалізації ВП	$N = 1024$
ОТРИМАНІ В РЕЗУЛЬТАТІ ОЦІНЮВАННЯ	
Оцінка математичного очікування	$M_x = 0.07193$
Оцінка дисперсії	$D_x = 0.03932$
Оцінка середньоквадратичного відхилення	$G_x = 0.1983$
Оцінка середньоквадратичного періоду	$T_{\text{скл}} = 860.5$ sec
Кількість середньоквадратичних періодів в згенерованій реалізації ВП (мінімум 25...50)	$N_{\text{Тскл}} = 178.5$

Рис. 2. 27 – Результати оцінювання статистичних показників формуючого фільтра з розрахунковими параметрами

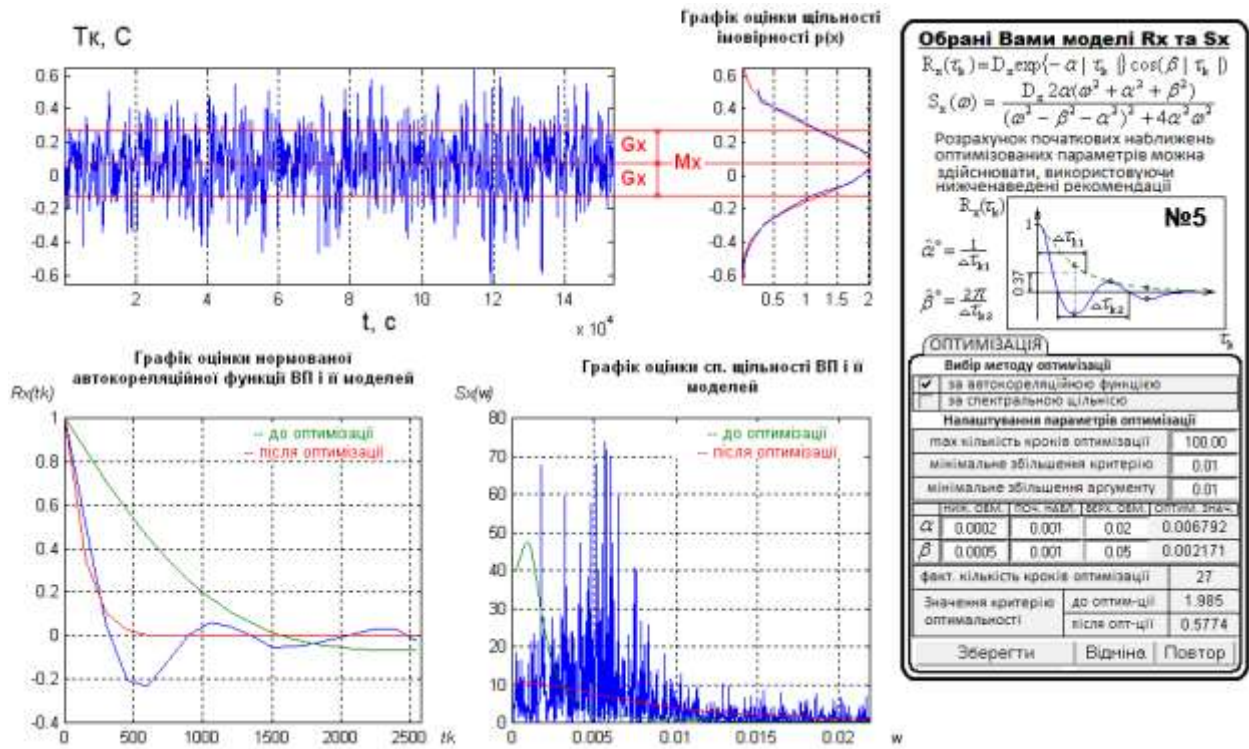


Рис. 2.27 (закінчення) – Результати оцінювання статистичних показників формуючого фільтра з розрахунковими параметрами

$$\Delta M = \frac{|M - \hat{M}|}{M} \cdot 100 = \frac{|0,07193 - 0,07164|}{0,07193} \cdot 100 = 0\%$$

$$\Delta \sigma = \frac{|\sigma - \hat{\sigma}|}{\sigma} \cdot 100 = \frac{|0,1983 - 1,315|}{0,1983} \cdot 100 = 563\%$$

$$\Delta \alpha = \frac{|\alpha - \hat{\alpha}|}{\alpha} \cdot 100 = \frac{|0,006792 - 0,0024535|}{0,006792} \cdot 100 = 64\%$$

$$\Delta \beta = \frac{|\beta - \hat{\beta}|}{\beta} \cdot 100 = \frac{|0,002171 - 0,004787|}{0,002171} \cdot 100 = 121\%$$

Похибка відтворення σ , α та β суттєво перевищує 5%, тому проведемо коригування параметрів формуючого фільтра: $k = 2,58$; $T = 180$ с; $\xi = 0,45$.

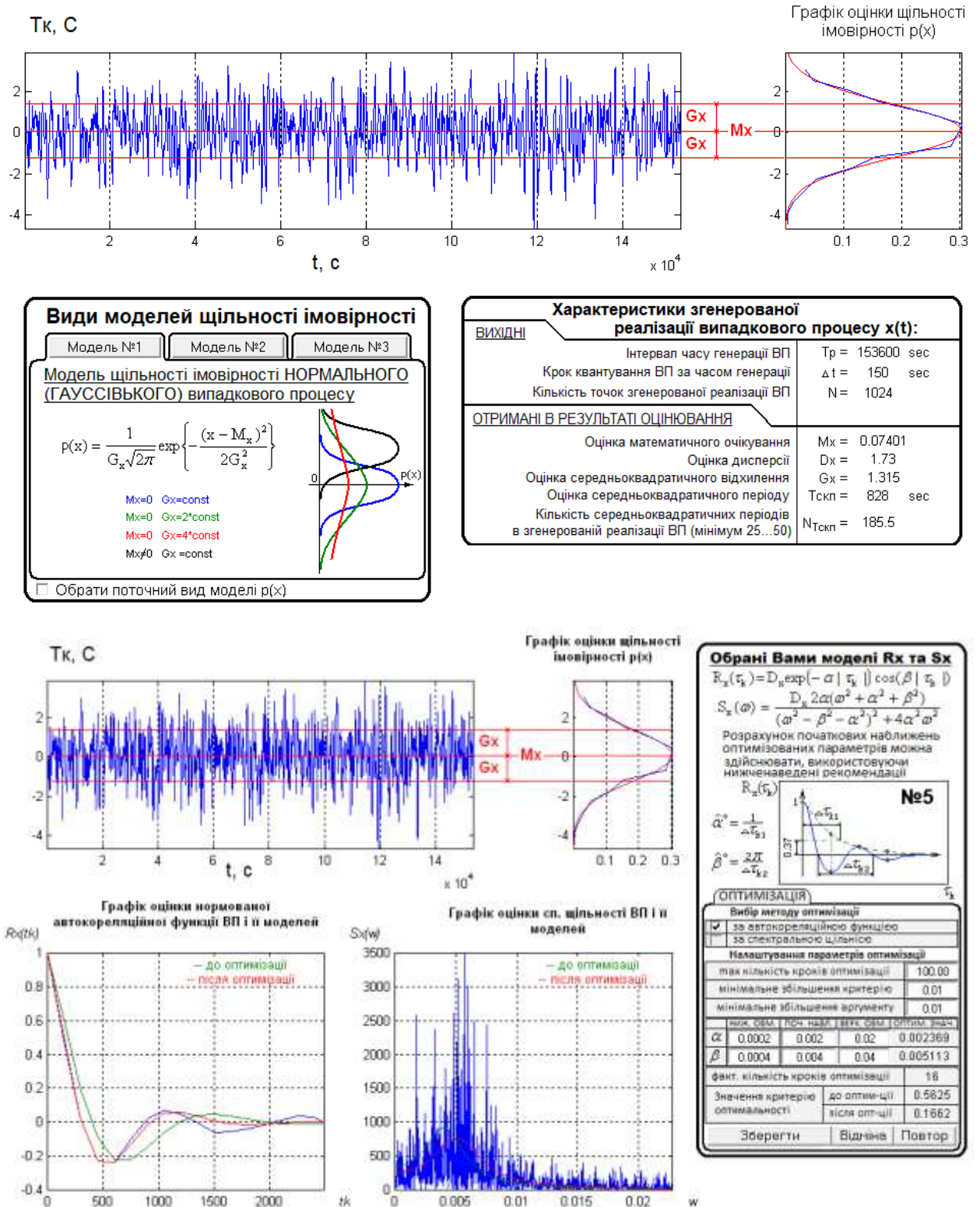


Рис. 2.28 – Результати оцінювання статистичних показників формуючого фільтра зі скоригованими параметрами

$$\Delta M = \frac{|M - \hat{M}|}{M} \cdot 100 = \frac{|0,07401 - 0,07164|}{0,07401} \cdot 100 = 3,2\%$$

$$\Delta \sigma = \frac{|\sigma - \hat{\sigma}|}{\sigma} \cdot 100 = \frac{|1,315 - 1,315|}{1,315} \cdot 100 = 0\%$$

$$\Delta \alpha = \frac{|\alpha - \hat{\alpha}|}{\alpha} \cdot 100 = \frac{|0,002369 - 0,0024535|}{0,002369} \cdot 100 = 3,6\%$$

$$\Delta \beta = \frac{|\beta - \hat{\beta}|}{\beta} \cdot 100 = \frac{|0,005113 - 0,004787|}{0,005113} \cdot 100 = 4,3\%$$

Похибка відтворення M , σ , α і β менша від 5%, а значить точність моделі неконтрольованих збурень є достатньою.

Кінцева передаточну функцію формуючого фільтр.

$$W_{\Phi\Phi}(p) = 2,58 \cdot \frac{180p + 1}{32400 \cdot p^2 + 162p + 1}$$

Повна модель ОК містить у собі повну модель каналів і модель неконтрольованих збурень. Схема моделювання повної моделі ОК наведена на рис. 2.29, а результати моделювання – на рис. 2.30.

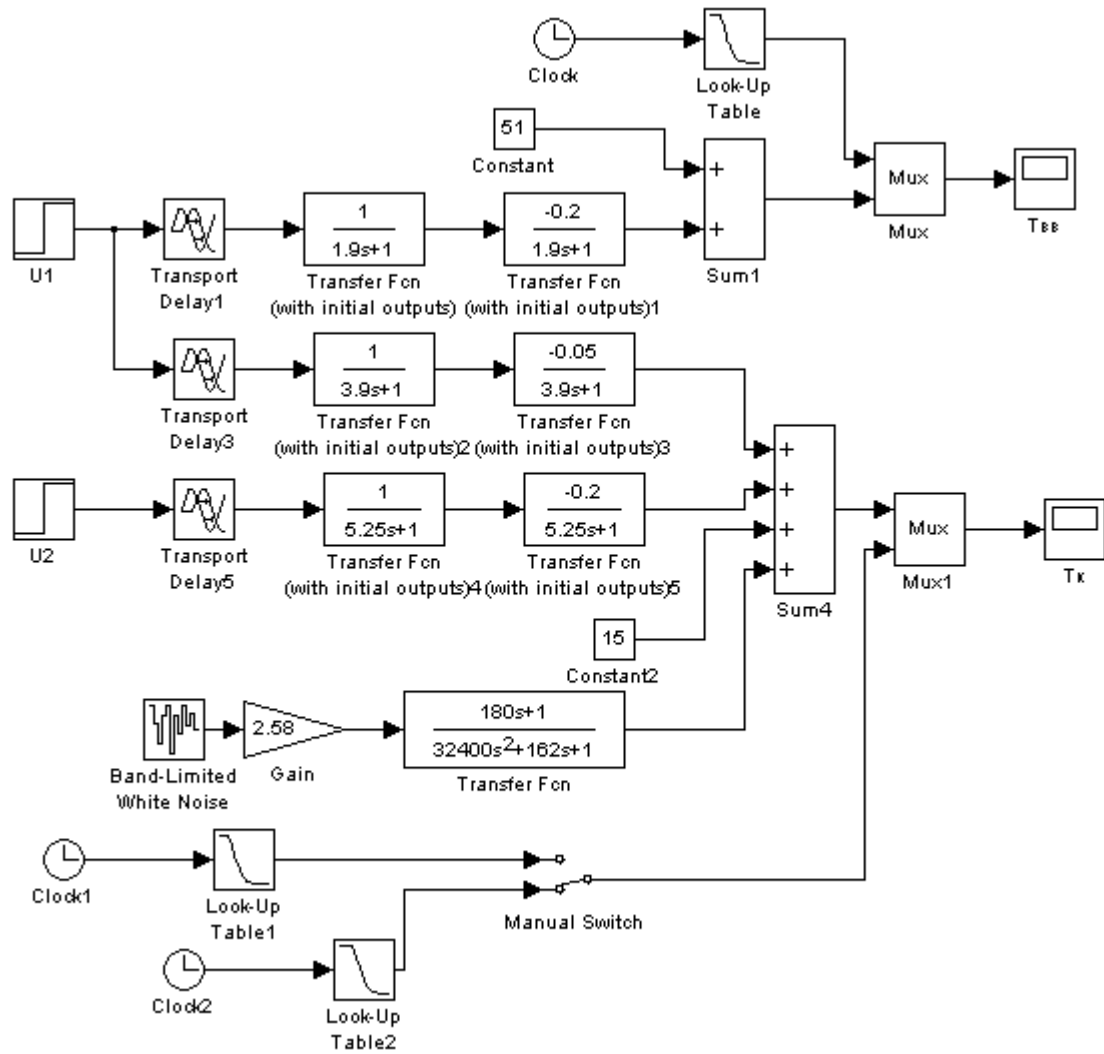


Рис. 2.29 – Схема моделювання повної моделі ОК

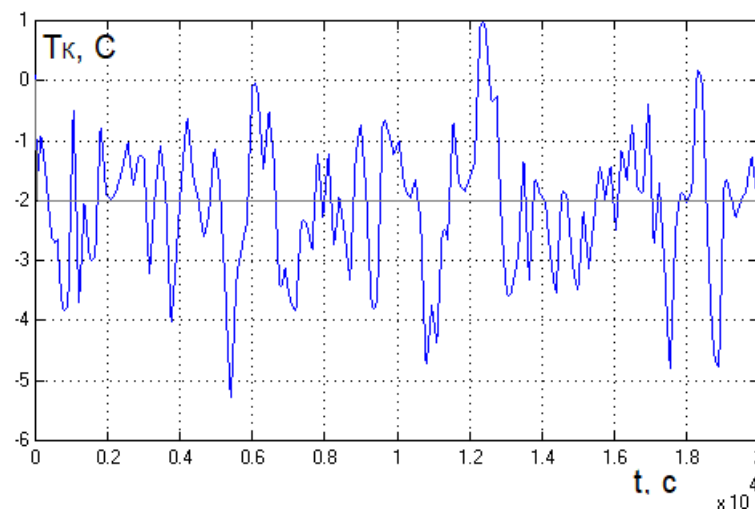


Рис. 2.30 – Результати моделювання повної моделі ОК

2.5 Висновки за розділом

У процесі виконання цього розділу дипломного проекту було отримано комплекс математичних моделей процесу охолодження риби у фреоновій холодильній камері. Цей комплекс включає моделі динаміки каналів ОУ, доступних для цілеспрямованої зміни, тобто каналів керування, і математичні моделі реакції ОУ на неконтрольовані збурення за всіма регульованими координатами ОУ.

У процесі параметричного аналізу ОУ було виявлено, що концептуальна модель ОУ повинна включати два прямі і один перехресний канал. Для ідентифікації моделей каналів ОУ було проведено активний експеримент, за результатами якого було виявлено, що за всіма каналами ОУ має властивість самовирівнювання. Для кожного каналу ОУ було отримано моделі 1-го і 2-го порядку.

Для ідентифікації моделей реакції ОУ на неконтрольовані збурення було проведено пасивний експеримент і проведено ідентифікацію моделей неконтрольованих збурень як динамічних процесів. Кращою виявилася модель №5.

Отримані моделі було відтворено на ЕОМ та оцінено адекватність отриманих моделей. Відтворення моделей неконтрольованих збурень здійснювалося методом формуючого фільтра.

Отримані в цьому розділі моделі надалі будуть використані для синтезу та аналізу систем автоматичного регулювання.

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

3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом

Задачу керування технологічним процесом охолодження риби можна розділити на кілька окремих задач. Загальною задачею керування в даному випадку є збереження риби з заданими властивостями. Розбивши даний процес на складові можна визначити наступні приватні задачі.

1. Якість охолодження риби в основному залежить від параметрів середовища в охолоджувальній камері. Тому задача регулювання буде складатися у виділенні каналів регулювання температури відпрацьованої води після конденсатора 10 і температури в камері, що дозволяють зміною.

2. Завдання адаптації полягає в налаштуванні властивостей керуючого пристрою в системах автоматичного керування при зміні властивостей об'єкта керування в процесі його роботи.

3. Оптимальний режим роботи забезпечується при правильному використанні води, електроенергії, фреону, дотриманні необхідної якості даних продуктів.

4. До задачі логічного керування відносять зміну загального стану устаткування при пуску, зупинці або виникненні аварійної ситуації. У цій задачі будемо вирішувати питання про правильну послідовність включення і відключення приводів об'єкта керування, сигнальних пристроїв і елементів блокування.

Задача автоматизації, у нашому випадку, зводиться до задачі побудови системи автоматичного регулювання температур відпрацьованої води і середовища в камері за рахунок дроселювання потоку води на конденсатор 10 і фреону на випарник камери.

Керування охолодженням риби відбувається з урахуванням вимірювання параметрів на кожному етапі. Зняття поточних параметрів проводиться одночасно відразу в декількох місцях.

Відповідно до технології, для якісного зберігання риби необхідно регульовані змінні підтримувати на визначеному значенні, проте, зрозуміло, що в результаті дії координатних, параметричних збурень і впливу перехресних зв'язків будуть відбуватися відхилення регульованих величин від номінальних.

Виходячи з вимог технології процесу зберігання риби в охолодженому стані, можуть бути задані визначені вимоги до відхилень (помилки) регульованих змінних :

- 1) до гранично припустимих динамічних відхилень;
- 2) до відхилень, якими можна знехтувати;
- 3) до часу існування припустимих динамічних відхилень за межами зони незначних відхилень.

На етапах розробки САУ, у якості одного з головних критеріїв, що характеризують доцільність її створення й ефективність її застосування є оцінка якості виконання поставленої перед САУ задачі, зокрема, для задач регулювання, підтримка параметрів технологічного процесу на заданих значеннях (у заданих діапазонах зміни). На практиці в якості такого показника найчастіше використовують інтегральні критерії; причому, чим менше буде відхилення поточного значення регульованої змінної від заданого (передбаченого регламентом), тим показник якості буде кращим.

У якості критерію оптимальності перехідних процесів вибираємо інтегральний модульний критерій, тому що цей критерій забезпечує виконання вимог технології до систем автоматичного регулювання. Тоді критерій прийме вид:

$$J = \int_0^{t_M} \left[|\Delta T_{BB10}(t)| + \frac{|\Delta T_K(t)|}{0,5} \right] dt$$

Для керування процесом охолодження риби доцільно використовувати принцип побудови САР зі зворотним зв'язком, оскільки, незважаючи на недоліки, такі системи забезпечують високу статичну точність регулювання, враховують неконтрольовані збурення, що в даному випадку важливо.

3.2 Синтез і аналіз системи автоматичного регулювання базової структури

Виходячи з повної моделі об'єкта керування, і додавши для кожного каналу керування регулятор, отримаємо двовимірну САР. Представимо схему САР у виді схеми САР базової структури:

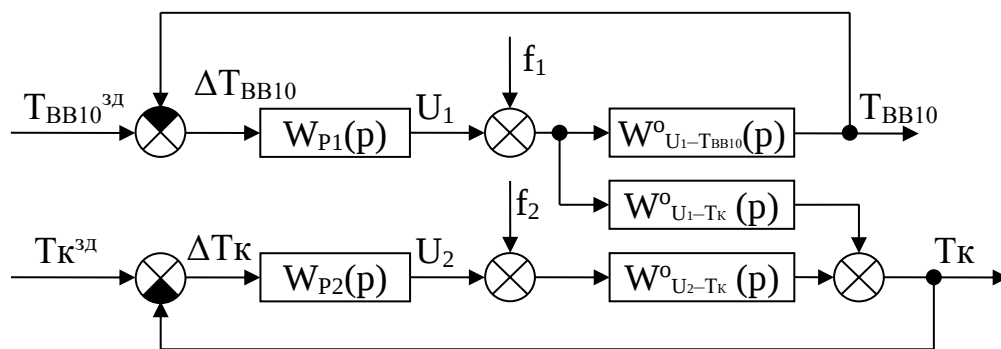


Рис. 3.1 – Узагальнена структурна схема САР базової структури

Вибір алгоритмів регулювання доцільно здійснювати з типових, а саме з наступних: П-, І-, ПІ-, ПД-, ПІД-алгоритмів регулювання; найбільш доцільним є розгляд і порівняльний аналіз ПІ і ПІД – алгоритмів регулювання, тому що саме ці алгоритми здатні забезпечити високу статичну точність регулювання за рахунок наявності в складі алгоритмів регулювання І-складової.

Запишемо рівняння і передатні функції ПІ- і ПІД – законів (алгоритмів) регулювання:

Рівняння руху ПІ-регулятора

$$u(t) = K_p \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{I3}} \int_0^T \Delta y(t) dt \right) + u_0$$

Передаточна функція ПІ-регулятора

$$W_P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{I3}p} \right)$$

Рівняння руху ПІД-регулятора

$$u(t) = K_p \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{I3}} \int_0^T \Delta y(t) dt + T_{yп} \frac{d\Delta y(t)}{dt} \right) + u_0$$

Передаточна функція ПІД-регулятора

$$W_P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{I3}p} + T_{yп}p \right)$$

Маючи даного значення і взявши як бажаний тип перехідного процесу коливальний з 20%-ним перерегулюванням, розрахуємо початкові наближення налаштувальних параметрів регуляторів на основі методики Капелловича.

$$W_{U_1-T_{BB10}}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-5p}}{2,9p+1}; W_{U_2-T_K}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-15p}}{7,9p+1}$$

Розрахунок налаштувань ПІ-регуляторів

Регулятор $W_{P1}(p)$

$$K_{P1} = \frac{0,8 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{0,8 \cdot 2,9}{-0,2 \cdot 5} = -2,32\% \text{х.р.о. } / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I31} = 2,5 \cdot \tau_O = 2,5 \cdot 5 = 12,5 \text{ с}$$

Регулятор $W_{P2}(p)$

$$K_{P2} = \frac{0,8 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{0,8 \cdot 7,9}{-0,2 \cdot 15} = -2,11\% \text{х.р.о. } / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I32} = 2,5 \cdot \tau_O = 2,5 \cdot 15 = 37,5 \text{ с}$$

Розрахунок налаштувань ПД-регуляторів

Регулятор $W_{P1}(p)$

$$K_{P1} = \frac{1,0 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,0 \cdot 2,9}{-0,2 \cdot 5} = -2,9\% \text{х.р.о. } / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I1} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 5 = 10 \text{ с}$$

$$T_{y1} = 0,5 \cdot \tau_O = 0,5 \cdot 5 = 2,5 \text{ с}$$

Регулятор $W_{P2}(p)$

$$K_{P2} = \frac{1,0 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,0 \cdot 7,9}{-0,2 \cdot 15} = -2,63\% \text{х.р.о. } / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I2} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 15 = 30 \text{ с}$$

$$T_{y2} = 0,5 \cdot \tau_O = 0,5 \cdot 15 = 7,5 \text{ с}$$

Подальшою задачею при розробці САР є її параметричний оптимальний синтез за інтегральним модельним критерієм.

Проведемо оптимізацію налаштувань ПД-регуляторів. Схема моделювання САР з ПД-регуляторами наведена на рис. 3.2, результати параметричної оптимізації САР з ПД-регуляторами наведені на рис. 3.3. Результати перевірки САР з ПД-регуляторами на грубість наведені на рис. 3.4. Як видно з рис. 3.4, САР з ПД-регуляторами є грубою.

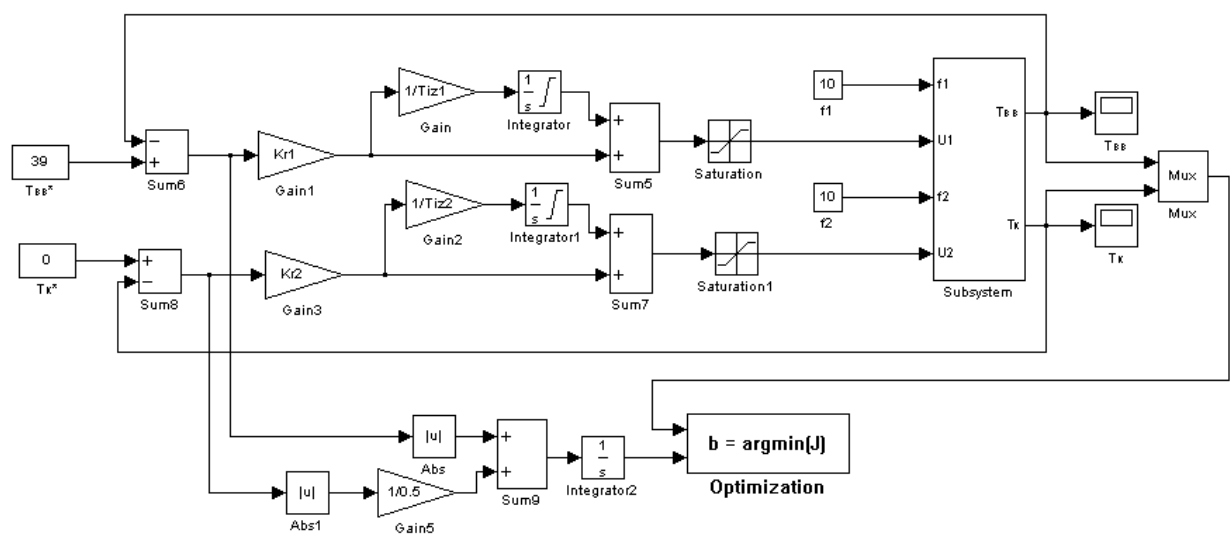
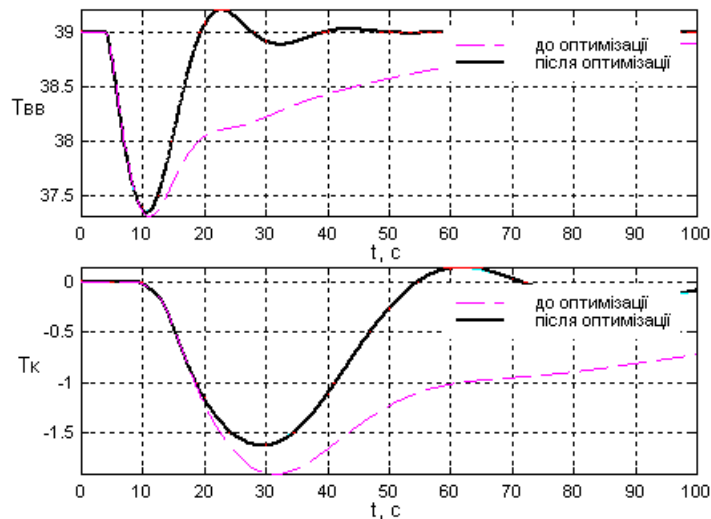
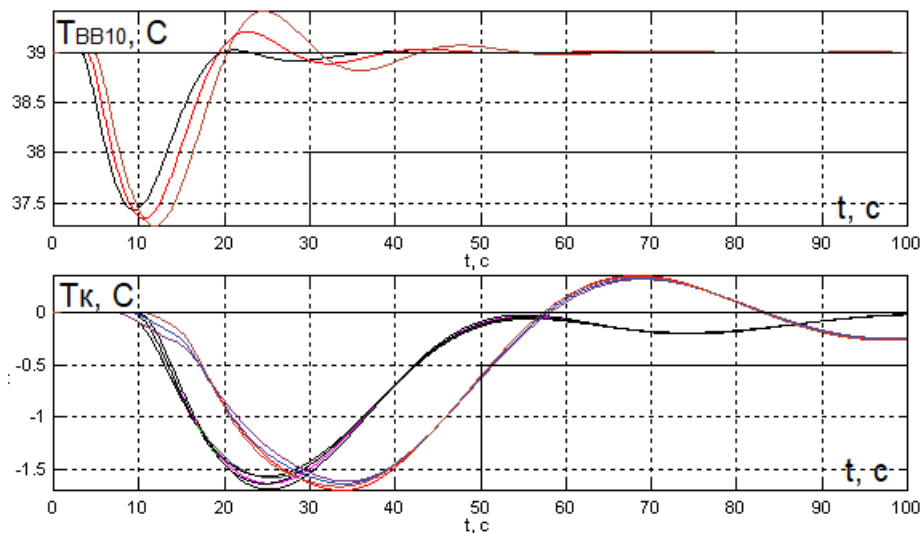


Рис. 3.2 – Схема моделювання САР с ПД-регуляторами



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	-3.0153	-10	-2.32	0	до - 251.8435
Tiz1	4.27	1	12.5	100	після - 111.0287
Kr2	-3.4803	-10	-2.11	0	оптимізації.
Tiz2	15.4939	1	37.5	100	Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1500
					фактична - 153

Рис. 3.3 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регуляторів



Значення параметрів об'єкта керування і значення критерія оптимальності.								
1. $k_1=0.8$ $k_2=0.8$ $J=101.3491$	2. $k_1=0.8$ $k_2=1$ $J=101.3731$	3. $k_1=0.8$ $k_2=1.2$ $J=101.4049$						
4. $k_1=1$ $k_2=0.8$ $J=103.7619$	5. $k_1=1$ $k_2=1$ $J=103.7829$	6. $k_1=1$ $k_2=1.2$ $J=125.5825$						
7. $k_1=1.2$ $k_2=0.8$ $J=126.9976$	8. $k_1=1.2$ $k_2=1$ $J=127.879$	9. $k_1=1.2$ $k_2=1.2$ $J=128.9542$						

Рис. 3.6 – Результати перевірки САР з ПІ-регуляторами на грубість

Проведемо оптимізацію налаштувань ПІД-регуляторів. Схема моделювання САР з ПІД-регуляторами наведена на рис. 3.7, результати параметричної оптимізації САР з ПІД-регуляторами наведені на рис. 3.8.

Результати перевірки САР з ПІД-регуляторами на грубість наведені на рис. 3.9. Як видно з рис. 3.9, САР з ПІД-регуляторами є грубою.

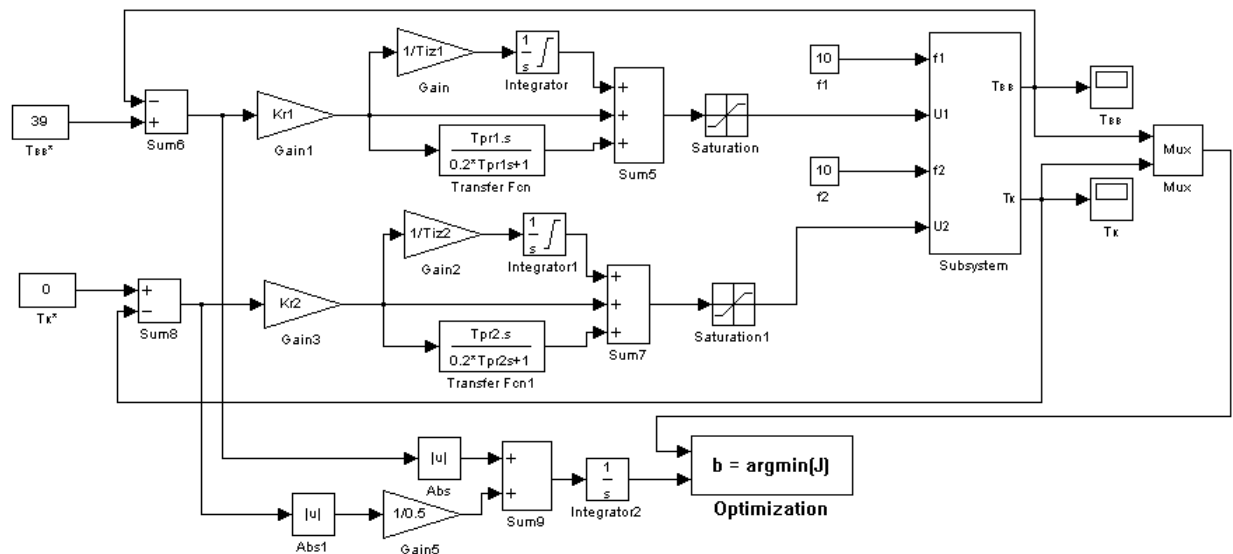
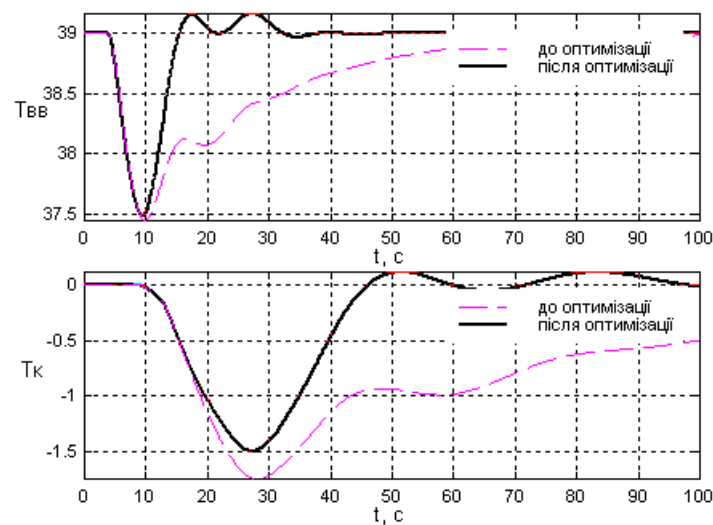


Рис. 3.7 – Схема моделювання САР с ПІД-регуляторами



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	-4.3778	-10	-2.9	0	до - 197.9644
Tiz1	3.6733	1	10	100	після - 76.0341
Tpr1	2.2969	0	2.5	50	оптимізації.
Kr2	-4.4012	-10	-2.63	0	Кількість кроків процедури оптимізації:
Tiz2	12.0209	1	30	100	максимальна - 1500
Tpr2	5.8778	0	7.5	50	фактична - 381

Рис. 3.8 – Результати оптимізації налаштувань ПІД-регуляторів

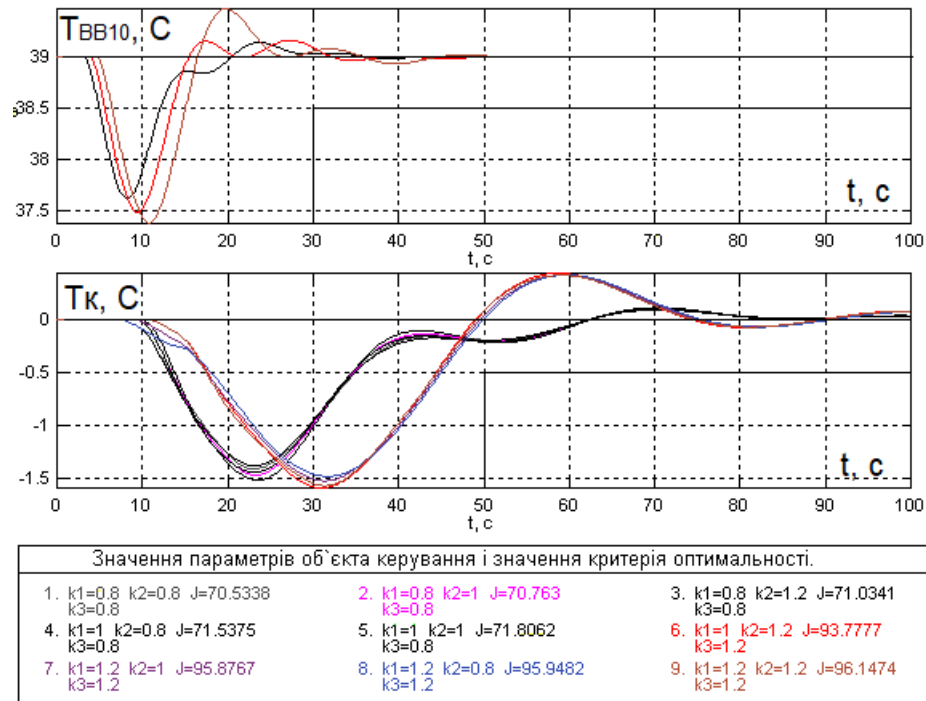


Рис. 3.9 – Результати перевірки САР з ПІД-регуляторами на грубість

Проведемо порівняння роботи параметрично оптимальних САР з ПІ- і ПІД-законами регулювання в умовах дії неконтрольованих збурень детермінованого характеру. Схема моделювання наведена на рис. 3.10, а результати моделювання – на рис. 3.11. Результати порівняння САР за прямими показниками якості та за інтегральним модульним критерієм зведено в таблицю 3.1.

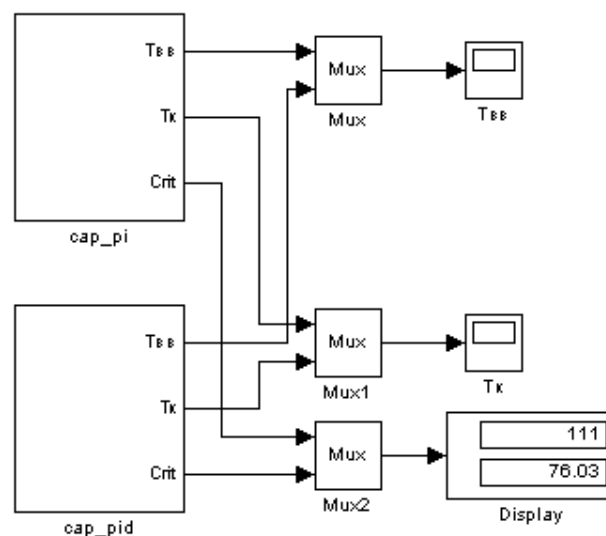


Рис. 3.10 – Схема моделювання для порівняння систем базової структури

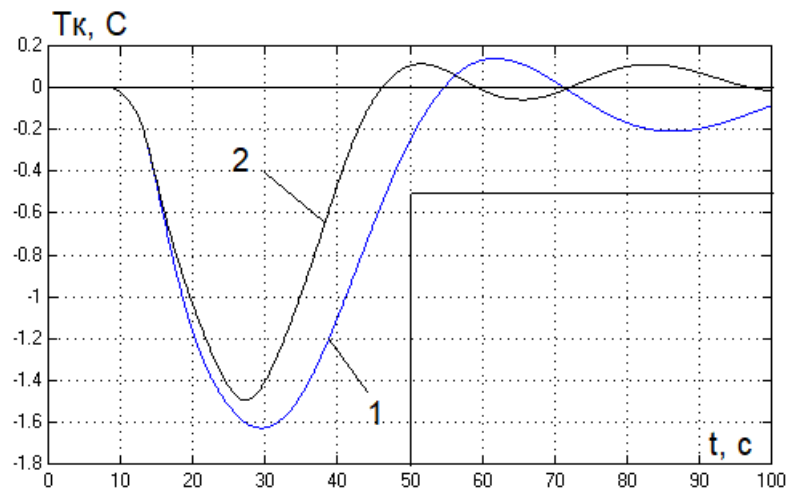


Рис. 3.11 (закінчення) – Результати моделювання САР з ПІ- та ПІД-регуляторами

Таблиця 3.1– Результати порівняння САР з ПІ- та ПІД-регуляторами

САР	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{ВВ10}^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{ПП1}}, \text{с}$	$\Delta T_{\text{К}}^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{ПП2}}, \text{с}$	
ПІ	1,66	14,7	1,63	46,8	111
ПІД	1,51	12,03	1,495	39,66	76

Порівнявши перехідні процеси САР з ПІД- і ПІ- регуляторами можна зробити висновок, що САР з ПІД – регулятором за максимальним динамічним відхиленням, часом перехідного процесу і критерієм оптимальності краще, тому цей алгоритм регулювання ми і будемо використовувати в подальших дослідженнях.

Виходячи з результатів перевірки системи з ПІД-регуляторами на грубість, можна зробити висновок, що найнесприятливішими для управління є параметри ОУ, а саме час запізнення, що на 20% більші від номінальних значень, а найбільш сприятливим є сполучення параметрів об'єкту на 20% менших від номінальних.

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

Причиною недостатньої точності САР можуть бути зовнішні умови: дія інтенсивних контрольованих і неконтрольованих збурень, інтенсивна зміна заданих значень регульованих координат, а також внутрішні особливості ОК і САР (значне співвідношення t_0 / T_0 , взаємний вплив каналів в багатовимірної САР).

Для САР температур відпрацьованої води та середовища в камері технологічного процесу охолодження риби основною причиною недостатньої динамічної точності САР може бути дія перехресного зв'язку в ОК. Основним шляхом підвищення динамічної точності саме розглянутої САР є побудова автономної САР.

Структурна схема автономної САР наведена на рис. 3.12.

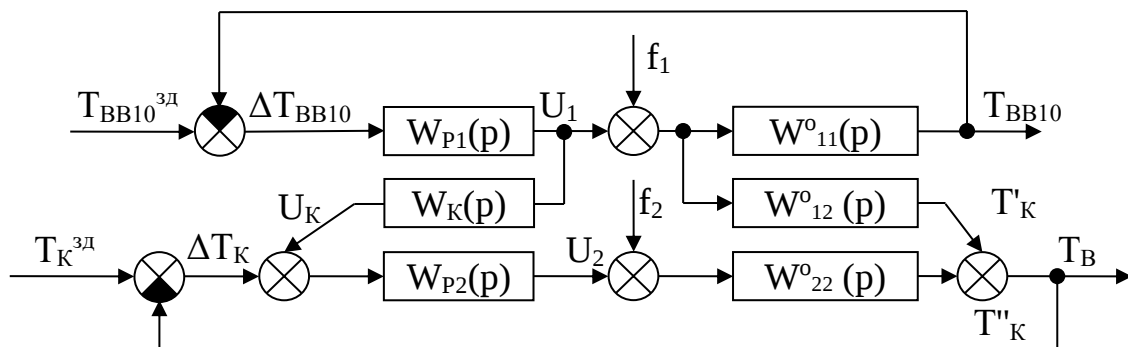


Рис 3.12 – Структурна схема автономної САР

Розглянемо структурну схему автономної САР. Для того щоб забезпечити автономність розглянутої САР, необхідно за допомогою коригувального зв'язку компенсувати вплив керуючого впливу U_1 на канал регулювання T_K . А значить необхідно розрахувати коригуючий зв'язок $W_K(p)$. У відповідності до принципу двоканальності Петрова:

$$T'_K + T''_K = T_K = 0$$

$$T'_K = U_1 \cdot W_{12}^0(p); \quad T''_K = U_1 \cdot W_K(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^0(p)$$

$$U_1 \cdot W_{12}^O(p) + U_1 \cdot W_K(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^O(p) = 0$$

$$U_1 \cdot W_K(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^O(p) = -U_1 \cdot W_{12}^O(p)$$

$$W_K(p) = -\frac{W_{12}^O(p)}{W_{P2}(p) \cdot W_{22}^O(p)}$$

$$W_{12}^O(p) = \frac{-0,05 \cdot e^{-10,8p}}{5,9p+1}; W_{22}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-15p}}{7,9p+1};$$

$$W_{P2}(p) = -4,4 \cdot \left(1 + \frac{1}{12p} + 5,88p\right) = -4,4 \cdot \frac{70,56p^2 + 12p + 1}{12p}$$

$$\begin{aligned} W_K(p) &= -\frac{\frac{-0,05 \cdot e^{-10,8p}}{5,9p+1}}{-4,4 \cdot \frac{70,56p^2 + 12p + 1}{12p} \cdot \frac{-0,2 \cdot e^{-15p}}{7,9p+1}} = \\ &= -\frac{-0,05}{-4,4 \cdot (-0,2)} \cdot e^{-10,8p+15p} \cdot \frac{12p \cdot (7,9p+1)}{(70,56p^2 + 12p + 1) \cdot (5,9p+1)} = \\ &= 0,057 \cdot e^{4,2p} \cdot \frac{12p \cdot (7,9p+1)}{(70,56p^2 + 12p + 1) \cdot (5,9p+1)} = \end{aligned}$$

Передаточна функція коригуючого зв'язку є фізично нереалізовуваною, оскільки містить ланку чистого випередження. Для приведення передаточної функції коригуючого зв'язку до фізично реалізованого вигляду проведемо заміну ланки чистого випередження форсуючою ланкою:

$$e^{\tau p} = 1 + \frac{\tau p}{0,1\tau p + 1}$$

$$e^{4,2p} = 1 + \frac{4,2p}{0,1 \cdot 4,2p + 1} = \frac{0,42p + 1 + 4,2p}{0,42p + 1} = \frac{4,62p + 1}{0,42p + 1}$$

Розрахункова передаточна функція коригуючого зв'язку:

$$W_K(p) = 0,057 \cdot \frac{4,62p + 1}{0,42p + 1} \cdot \frac{12p \cdot (7,9p + 1)}{(70,56p^2 + 12p + 1) \cdot (5,9p + 1)}$$



Рис. 3.13 – Сема моделювання розрахункового коригуючого зв'язку $W_K(p)$

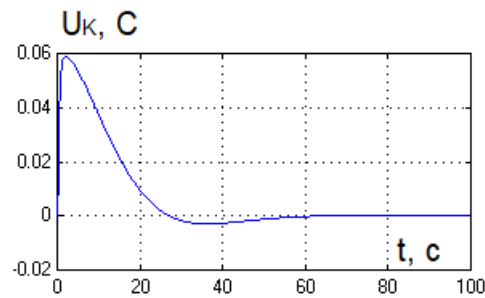


Рис. 3.14 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку $W_K(p)$

Спростимо передаточну функцію коригуючого зв'язку

$$W_K(p) = 0,057 \cdot \frac{12p}{70,56p^2 + 12p + 1} = K_K \cdot \frac{T_K p}{T_K^2 p^2 + 2\vartheta T_K p + 1}$$

Попередні значення параметрів коригуючого зв'язку $W_{K1}(p)$:

$$T_K = \sqrt{70,56} = 8,4 \text{ c}; K_{K1} = \frac{0,057 \cdot 12}{8,4} = 0,08; \vartheta = \frac{12}{2 \cdot 8,4} = 0,71$$

Уточнимо параметри спрощеного коригуючого зв'язку $W_K(p)$.

$$W_K(p) = 0,057 \cdot \frac{12p}{70,56p^2 + 12p + 1} = K_K \cdot \frac{T_K p}{(T_K p + 1)^2}$$

Попередні значення параметрів коригуючого зв'язку $W_{K1}(p)$:

$$T_K = \sqrt{70,56} = 8,4 \text{ c}; K_{K1} = \frac{0,057 \cdot 12}{8,4} = 0,08$$

Уточнимо параметри спрощеного коригуючого зв'язку $W_K(p)$.

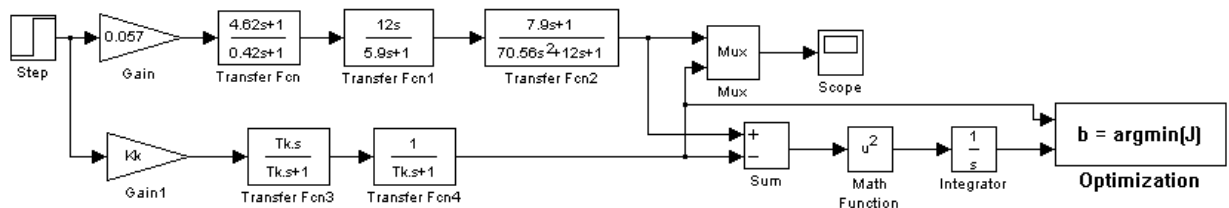


Рис. 3.15 – Сема моделювання для уточнення параметрів коригуючого зв'язку $W_K(p)$

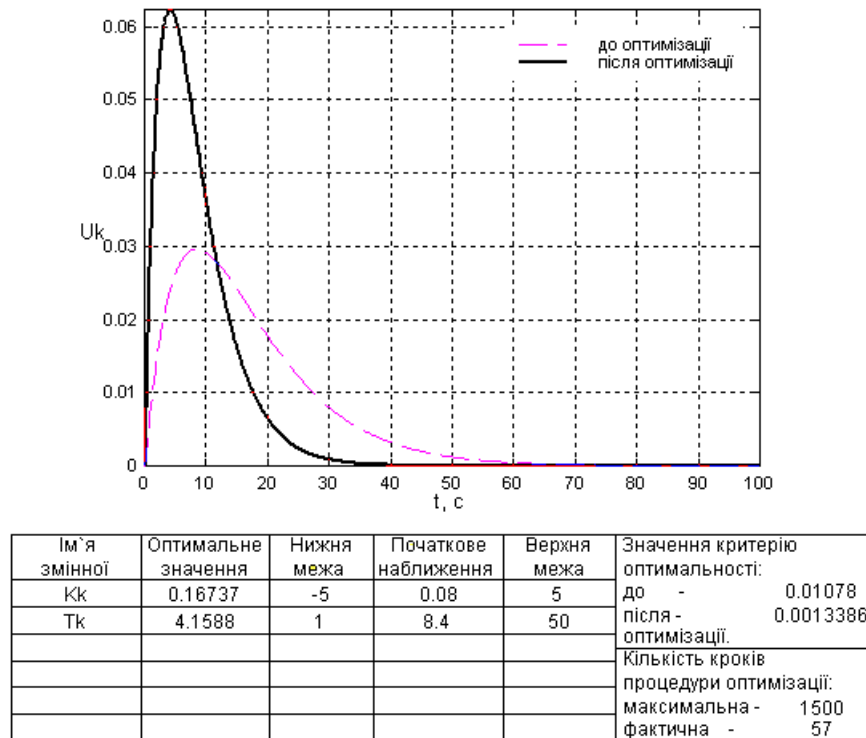


Рис. 3.16 – Результати уточнення параметрів спрощеного коригуючого зв'язку $W_k(p)$

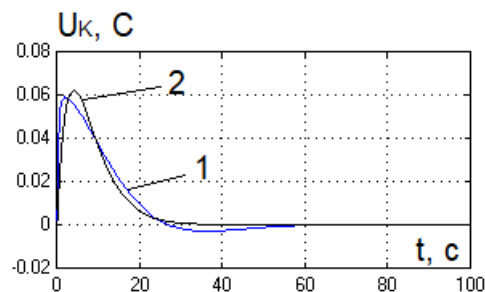


Рис. 3.17 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку $W_k(p)$: 1 – розрахункова, 2 – спрощена

Інтегруємо спрощену передаточну функцію коригуючого зв'язку до структурної схеми САР підвищеної динамічної точності. Проведемо оптимальний параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності. Структурна схема моделювання для САР підвищеної динамічної точності наведена на рис. 3.18, а результати оптимізації – на рис. 3.19.

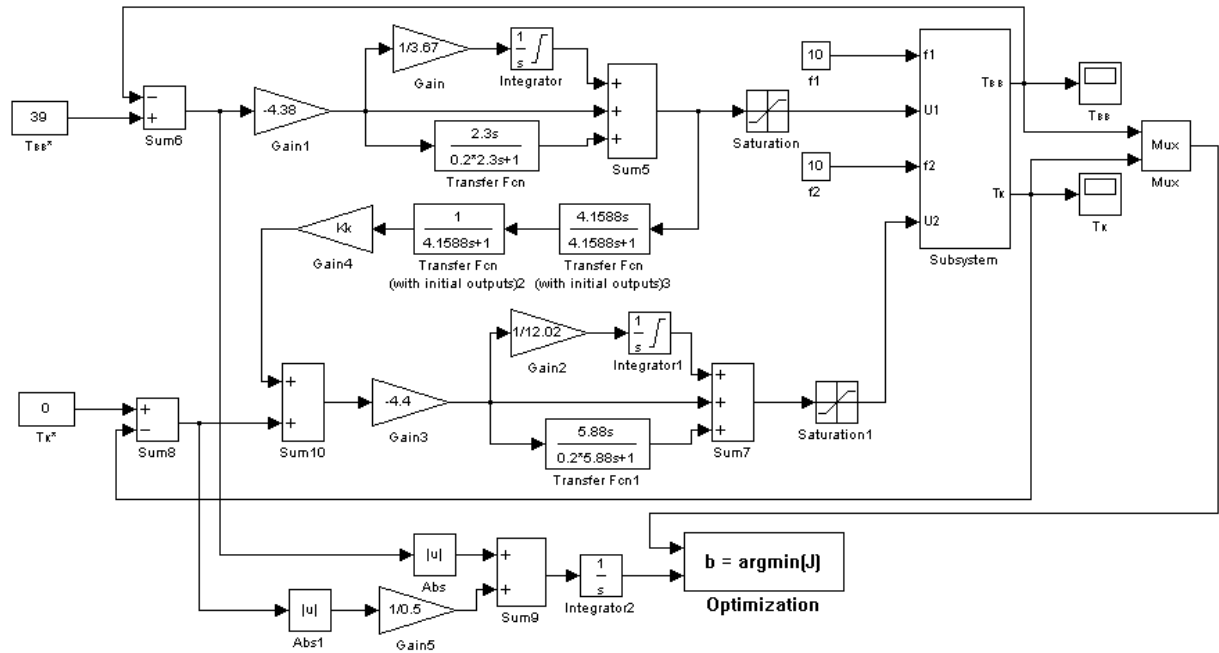
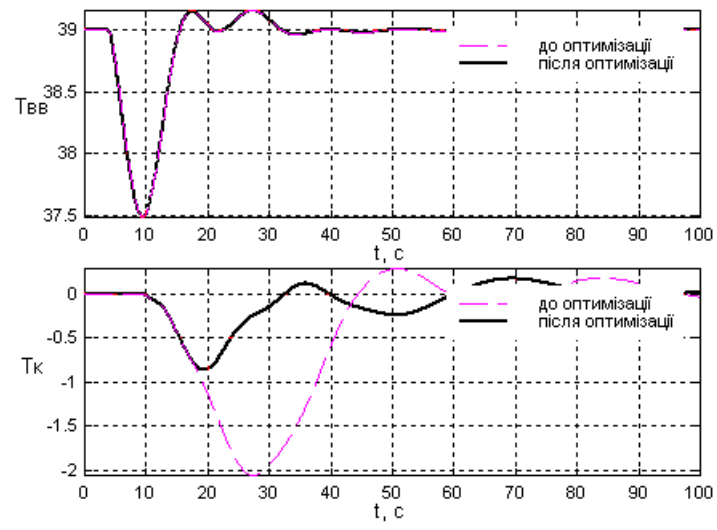


Рис. 3.18 – Схема моделювання для оптимального параметричного синтезу САР автономної структури



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kk	-0.35717	-5	0.167	5	до - 99.0636
Tk	4.8819	1	4.16	50	після - 42.1739
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1500
					фактична - 60

Рис. 3.19 – Результати оптимального параметричного синтезу САР автономної структури

Проаналізуємо САР підвищеної динамічної точності на грубість. Результати цього аналізу наведені на рис. 3.20

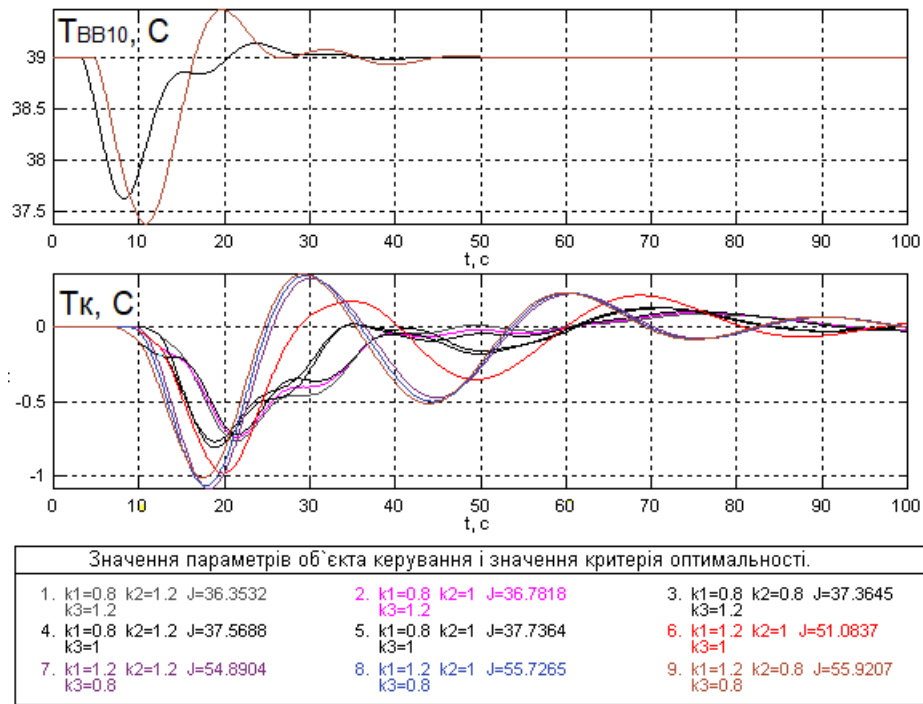


Рис. 3.20 – Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість

3.4 Порівняння САР базової структури з ПІД-регуляторами та автономної САР

Проведемо порівняння роботи параметрично оптимальних САР базової структури та підвищеної динамічної точності в умовах дії неконтрольованих збурень детермінованого характеру. Схема моделювання наведена на рис. 3.21, а результати моделювання – на рис. 3.22. Результати порівняння САР за прямими показниками якості та за інтегральним модульним критерієм зведено в таблицю 3.2.

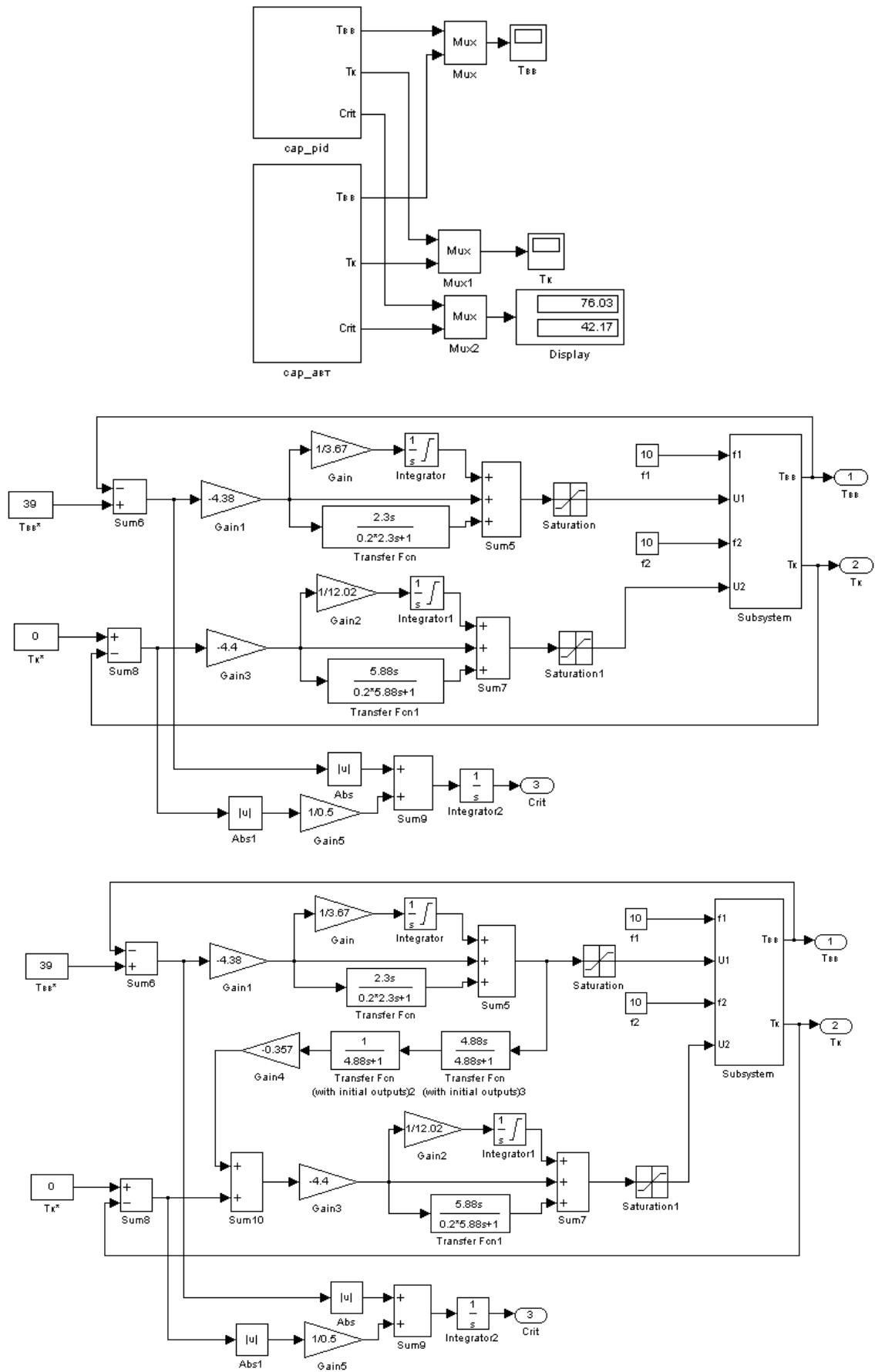


Рис. 3.21 – Схема моделювання для порівняння CAP базової і автономної структури

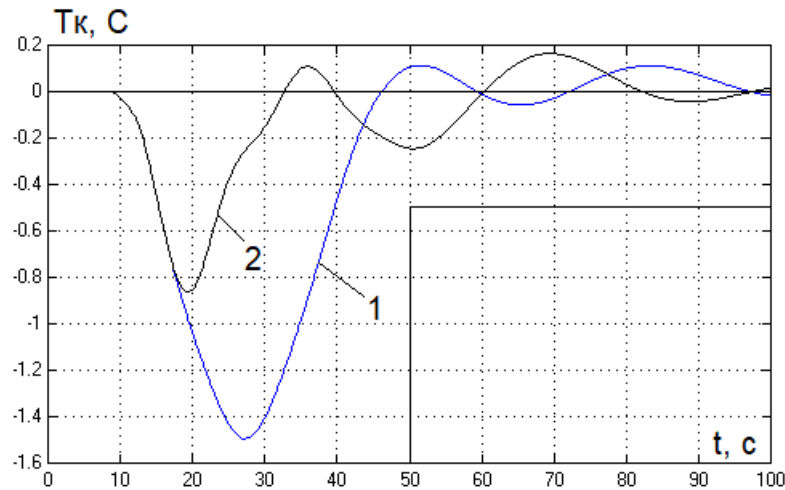


Рис. 3.22 – Порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності: 1 – САР базової структури; 2 – САР підвищеної динамічної точності

Таблиця 3.2 – Результати порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

Варіант САР	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{BB10}^{МАКС}, ^\circ\text{C}$	$T_{пп1}, \text{с}$	$\Delta T_K^{МАКС}, ^\circ\text{C}$	$T_{пп2}, \text{с}$	
Базової структури	1,51	12,03	1,495	39,66	76
Автономна	1,51	12,03	0,865	23,7	42,17

Як видно з результатів порівняльного аналізу САР підвищеної динамічної точності дає суттєве покращення якості регулювання за більшістю показниками.

3.5 Висновок за розділом

САР з ПІ- і ПІД-регуляторами відповідають гранично-припустимим вимогам.

Для ПІ-регуляторів коефіцієнт передачі K_{P1} зменшився на 30%, час ізодрому T_{I31} зменшився на 66%, коефіцієнт передачі K_{P2} зменшився на 65%, час ізодрому T_{I32} зменшився на 59%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T_{BB10}^{МАКС}$ зменшилося на 2%, час перехідного процесу за T_{BB10} зменшився на

23%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T_K^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 15%, час перехідного процесу за T_K зменшився на 66%, інтегральний показник якості зменшився на 56%.

Для ПД-регуляторів коефіцієнт передачі K_{P1} зменшився на 52%, час ізодрому T_{I31} зменшився на 63%, час упередження $T_{УП1}$ зменшився на 8%, коефіцієнт передачі K_{P2} зменшився на 69%, час ізодрому T_{I32} зменшився на 60%, час упередження $T_{УП2}$ зменшився на 21%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T_{ВВ10}^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 3%, час перехідного процесу за $T_{ВВ10}$ зменшився на 15%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T_K^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 14%, час перехідного процесу за T_K зменшився на 60%, інтегральний показник якості зменшився на 62%.

Оскільки САР з налаштуваннями регуляторів за інженерними методиками дають перехідні процеси, що сходяться, ці перехідні процеси відповідають гранично припустимим вимогам, то їх можна використовувати на практиці. Але такі САР потребують оптимального параметричного синтезу.

В результаті введення до регуляторів Д-складової в САР максимальне динамічне відхилення $\Delta T_{ВВ10}^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 9%; час перехідного процесу за $T_{ВВ10}$ зменшився на 19%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T_K^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 8%; час перехідного процесу за T_K зменшився на 15%, інтегральний показник якості зменшився на 32%.

САР з ПІ- та ПД-регуляторами є грубими, тому що в умовах 20%-ї варіації параметрів ОК ці САР дають перехідні процеси, що сходяться.

Для САР з ПІ-регуляторами різниця між «найсприятливішими» та «найнесприятливішими» для керування параметрами ОК за критерієм 22%.

Для САР з ПД-регуляторами різниця між «найсприятливішими» та «найнесприятливішими» для керування параметрами ОК за критерієм 26%.

Оскільки за критеріями різниця між «найсприятливішими» та «найнесприятливішими» умовами керування для САР з ПІ-регуляторами є меншою, то САР з ПІ-регуляторами є «грубішою», а САР з ПД-регуляторами

– «чутливішою». Хоча в найгірших для керування умовах САР з ПП-регуляторами не відповідає гранично припустимим вимогам за T_k .

У результаті підвищення динамічної точності шляхом побудови САР автономної структури прямі показники якості САР за T_{BV10} не змінилися, максимальне динамічне відхилення за T_k зменшилося на 42%, час перехідного процесу за T_k зменшився на 41%, а інтегральний показник якості зменшився на 45%. При цьому автономна САР залишилася грубою.

САР підвищеної динамічної точності автономної структури дала значне покращення інтегрального показника якості при збереженні грубості САР. І САР базової структури, і САР підвищеної динамічної точності автономної структури відповідають гранично припустимим умовам. Отже, САР підвищеної динамічної точності автономної структури використовувати доцільно.

Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом

4.1 Розробка алгоритмів автоматичного управління нормальним пуском та зупинкою установки

Риба в камері 1 знаходиться у стелажах 2 і охолоджується у потоці циркулюючого холодного повітря. Циркуляцію повітря в камері забезпечує циркуляційний вентилятор 3. Охолодження повітря відбувається у випарнику 5 за рахунок випаровування рідкого фреону, який подається під тиском через регулюючий вентиль 13 в умови різкого зменшення тиску. У результаті випаровування фреон приймає велику кількість тепла від циркулюючого повітря і переходить в газоподібний стан. Газоподібний фреон з випарника відсмоктується компресором 1 і стискається до 350кПа, віддає частину тепла воді в конденсаторі 1. Температура відпрацьованої води після конденсатора 1 складає $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Але у конденсаторі 1 фреон не конденсується, а лише зменшує свій тепловий потенціал. Газоподібний фреон з конденсатора 1 відсмоктує компресор 2, який знову стискає фреон до 350кПа. Фреон потрапляє до конденсатора 2, де втрачає ще частину накопиченого в випарнику тепла і конденсується. Температура відпрацьованої води після конденсатора 2 складає $38 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Рідкий фреон через клапан 13 поступає на форсунку до випарника.

Технологічна схема процесу охолодження риби для вирішення задач логічного керування приведена на рисунку 4.1.

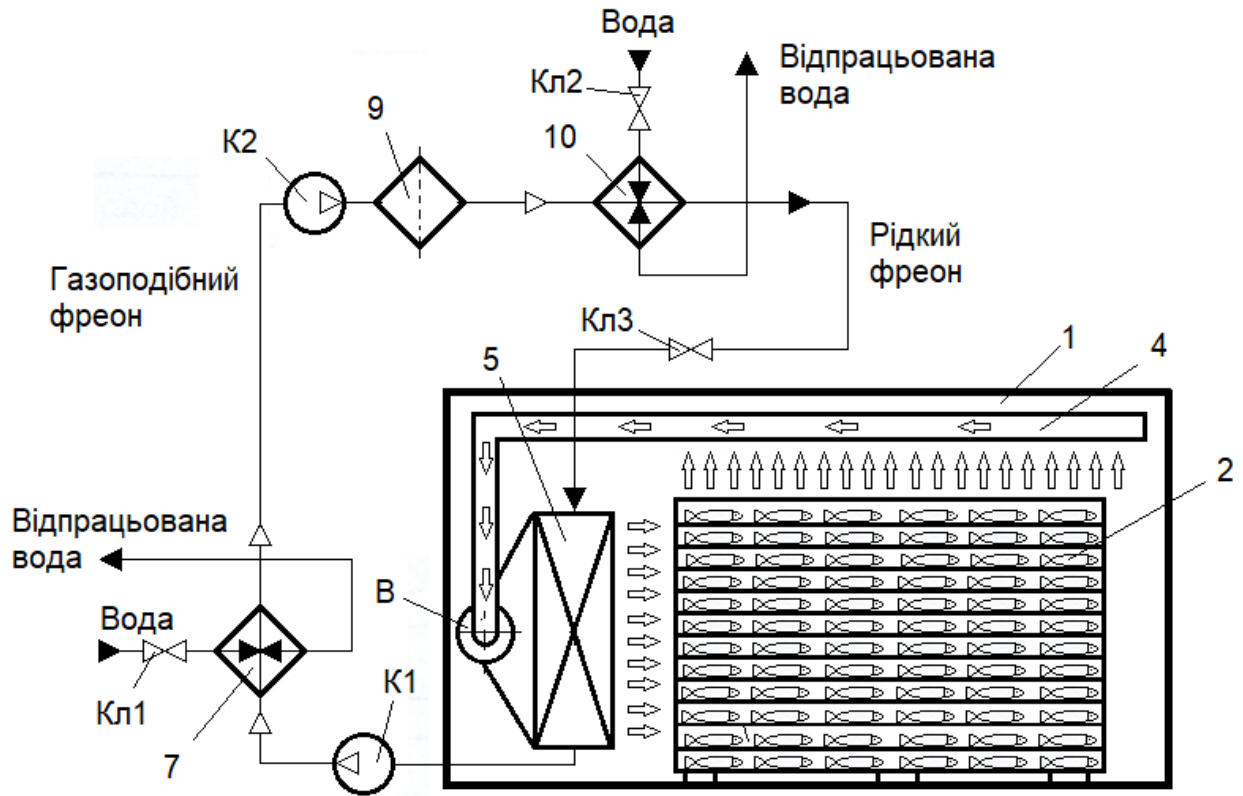


Рис. 4.1 – Технологічна схема процесу охолодження риби в холодильній камері для вирішення задачі логічного керування: 1 – камера; 2 – стелажі з рибою; В – циркуляційний вентилятор; 4 – повітроводи; 5 – випарник; К1 – компресор 1; 7 – конденсатор 1; К2 – компресор 2; 9 – фільтр; 10 – конденсатор 2; Кл1, Кл2, Кл3 – регулюючий вентиль

Пуск установки в роботу здійснюється наступним чином. Після перевірки умов, необхідних для пуску і передпускової звукової сигналізації запускається циркуляція повітря в камері, потім запускається циркуляція води в конденсаторах, потім запускаються компресори. Коли компресори набирають тиск фреону, фреон починає подаватися до випарника. Блок схема регламенту процесу при пуску установки наведена на рис. 4.2 .

Зупинка установки здійснюється наступним чином. Спочатку припиняється нагнітання газоподібного фреону. Потім рідкий фреон перестає подаватися до випарника. Потім припиняється подача води до конденсаторів. І на завершення припиняється циркуляція повітря в камері. Блок схема регламенту процесу при нормальній зупинці установки наведена на рис. 4.3 .

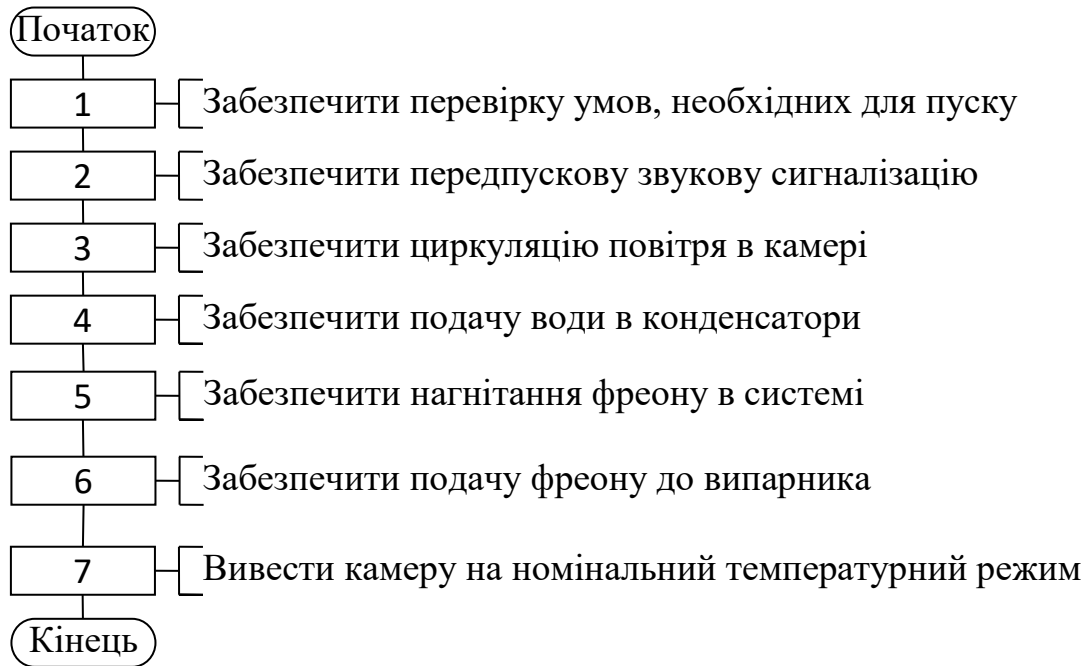


Рис. 4.2 – Блок схема регламенту при пускові холодильної камери

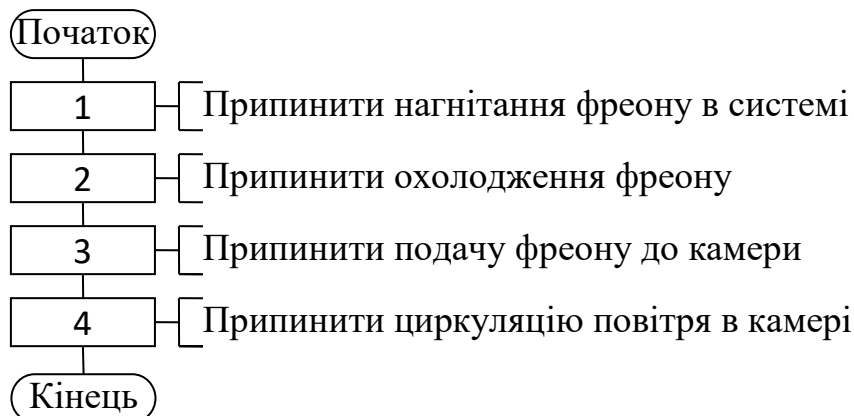


Рис. 4.3 – Блок схема регламенту при технологічній зупинці холодильної камери

4.2 Розробка алгоритмів автоматичного керування технологічним циклом процесу

Блок схема алгоритму автоматичного керування пуском холодильної камери наведена на рисунку 4.4.

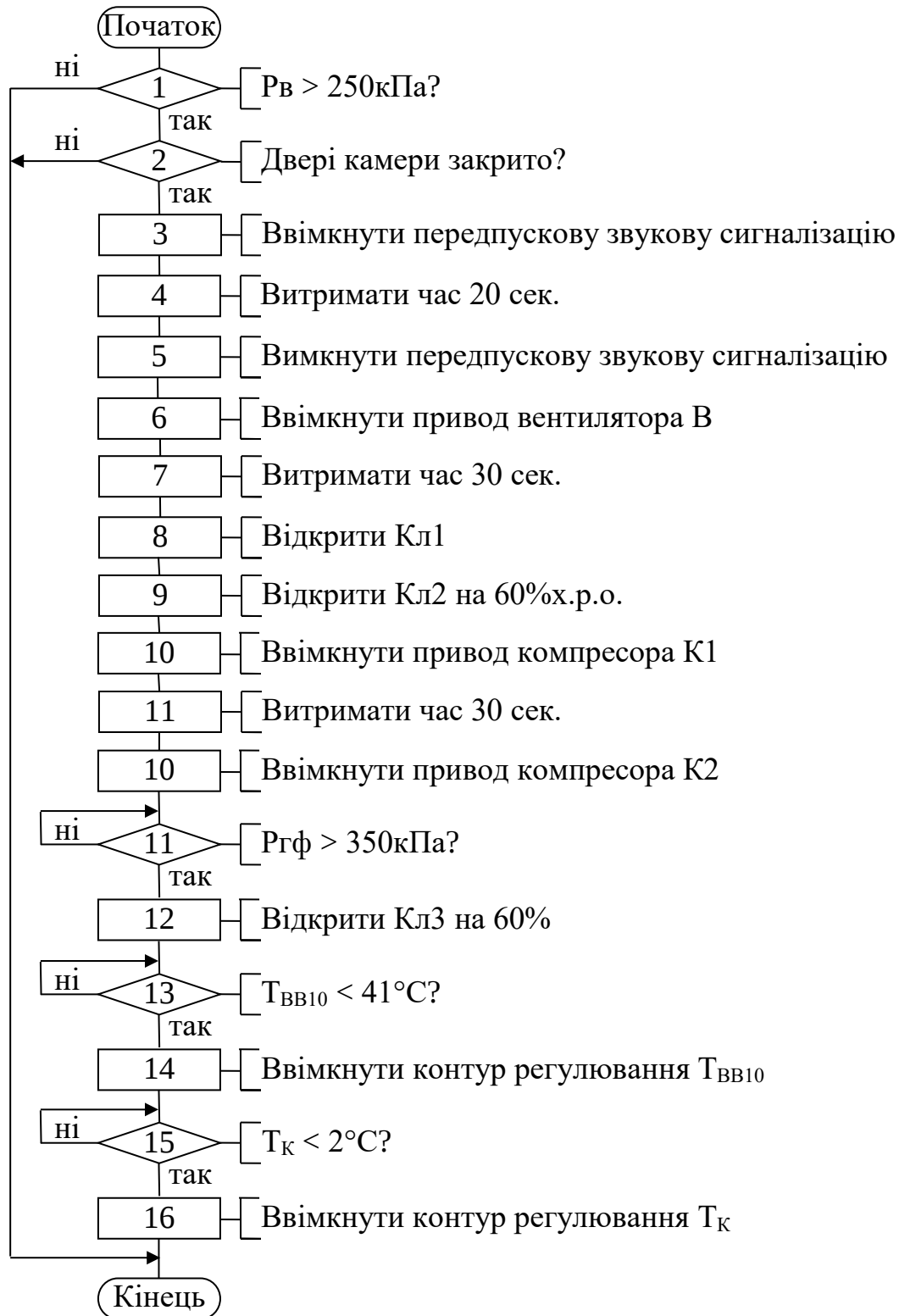


Рис. 4.4 – Блок схема алгоритму автоматичного керування пуском холодильної камери

Керування пуском процесу охолодження риби в холодильній камері реалізується наступним чином.

Перевірка умов, необхідних для пуску, реалізується перевіркою тиску води в водопроводі, що підводить воду для охолодження фреону в конденсаторах, і перевірки закриття дверей камери. Для забезпечення передпускової звукової сигналізації звуковий сигналізатор вмикається на 20 сек. Надалі вмикається електропривод циркуляційного вентилятора В. Після витримки часу 30 сек. на розгін вентилятора відкриваються клапани подачі води до конденсаторів. Для забезпечення циркуляції фреону в системі з інтервалом в 30 сек. вмикаються приводи компресорів К1 і К2. Після досягнення тиском газоподібного фреону значення 350кПа відкривається клапан подачі фреону до випарника камери. Для запуску контурів регулювання контролюється зниження температур нижче максимально припустимих короткочасних значень і вмикання відповідних контурів регулювання. Пуск холодильної камери в роботу завершено. Цикл роботи камери завершено.

Блок схема алгоритму автоматичного керування технологічною зупинкою холодильної камери наведена на рисунку 4.5.

Технологічна зупинка холодильної камери розпочинається з припинення нагнітання фреону в системі. Для цього вимикаються приводи компресорів. Для припинення охолодження фреону в конденсаторах закриваються клапани Кл1, Кл2 і вмикається контур регулювання $T_{ВВ10}$. Для припинення подачі фреону до випарника камери вмикається контур регулювання температури в камері T_K і закривається клапан 3. Для припинення циркуляції повітря в камері вмикається циркуляційний вентилятор.

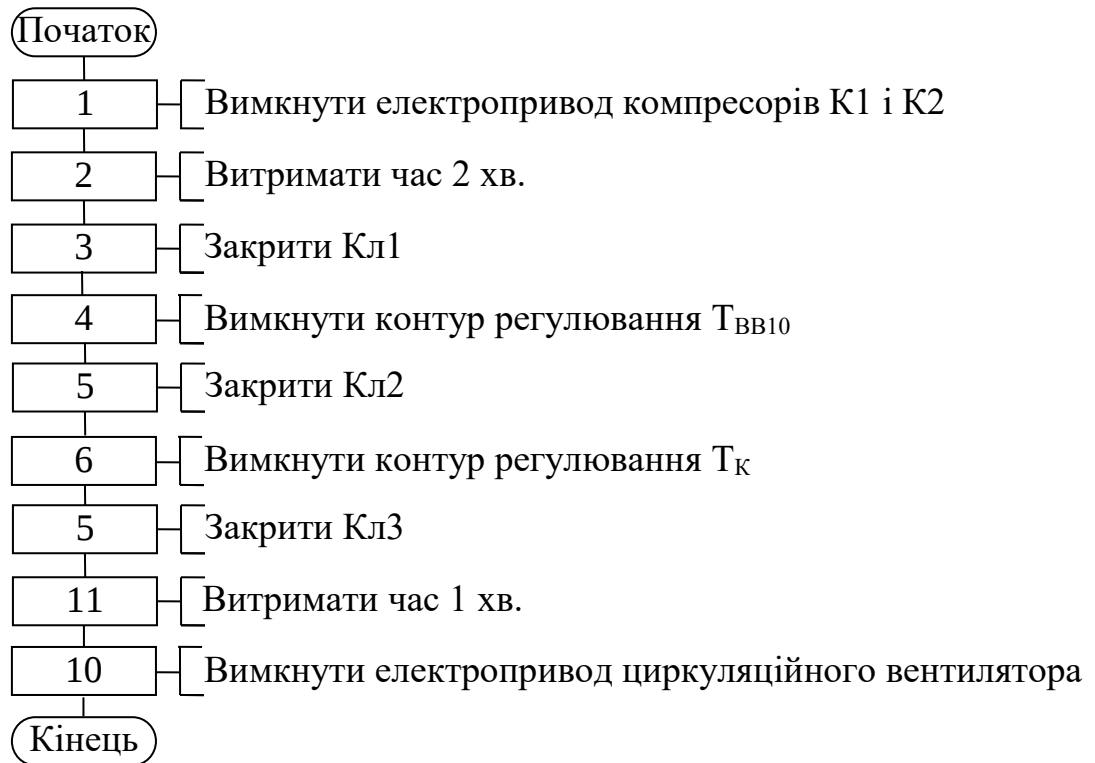


Рис. 4.5 – Блок схема алгоритму автоматичного керування технологічною зупинкою холодильної камери

4.3 Висновки за розділом

В ході виконання цього розділу роботи сформульовано регламент пуску та технологічної зупинки обладнання холодильної камери. Розроблено алгоритми логічного керування пуском та технологічною зупинкою.

Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі

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

До переліку середовищ, параметри яких підлягають контролю, вимірюванню, регулюванню відноситься: повітря в камері з температурою 0...2 °С, відпрацьована вода з температурою 38 °С, рідкий фреон з температурою -20 °С - з нею стикаються чутливі елементи датчиків температури, регулюючі клапани.

Характеристики виробничих приміщень, де розташовуються технологічне обладнання та технічні засоби автоматизації: процес охолодження риби здійснюється в холодильній камері, яка встановлений у приміщенні цеху, температура повітря в якому змінюється в діапазоні 20...30 °С. Цей процес не є пожежонебезпечним або вибухонебезпечним.

«Правила улаштування електроустановок» визначають:

Щодо безпеки ураження людей електричним струмом розрізняють: приміщення з підвищеною безпекою, які характеризуються наявністю в них однієї з умов, що створює підвищену безпеку:

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

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де встановлена холодильна камера, слід віднести до нормального приміщення з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом.

На обслуговуючий персонал діють такі шкідливі чинники, як шум та понижена температура. Тому АРМ оператора-технолога доцільно винести в окреме приміщення, в яке зводиться вся необхідна інформація про стан технологічних параметрів. В системі слід передбачити можливість місцевого та дистанційного керування технологічним обладнанням.

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

В ході технологічно процесу охолодження риби використовуються наступні технічні засоби:

Для виміру температури повітря в камері та охолоджуючої води застосований датчик температури ТЕРА (ТСП гр.Pt100) в корпусі 1-3 з вбудованим нормуючим перетворювачем (див. рис. 5.1, рис. 5.2).



а)

Технічні характеристики:

Діапазон вимірювання	-50...200 °С
Стат. хар-ка	Pt100
Клас допуску	АА
Показник інерції	20...30 с
Захист	IP66

б)

Рис. 5.1 – Датчик температури ТЕРА в корпусі 1-3:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики



а)

Технічні характеристики:

Вихідний сигнал	4...20 мА
Клас точності	0,5 %
Напруга живлення	12...36 V DC
Захист	Ex

б)

Рис. 5.2 – Вбудований перетворювач температури:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

Для сигналізації низького тиску перед компресором та низького тиску води застосоване реле тиску HLP506M.



а)

Технічні характеристики:

Діапазон тиску	0,05 МПа
Струм комутації	6 А
Захист	IP30

б)

Рис. 5.3 – Реле тиску HLP506M:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

Для сигналізації перепаду тиску на фільтрі застосоване диференціальне реле Alco controls FD 113.



а)

Технічні характеристики:

Струм комутації	6 А
Макс. перепад тиску	12 бар
Захист	IP30

б)

Рис. 5.4 – Диференціальне реле Alco controls FD 113:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

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

Для керування положенням кульового клапану подачі води або фреону застосовується виконавчий механізм Rotork RCEL005



а)

Технічні характеристики:

Максим. момент	50 Нм
Напруга живлення	24 V Dc
Сигнал керування	4...20 мА
Час ходу	90°/30 с
Захист	IP68

б)

Рис. 5.5 – Виконавчий механізм Rotork RCEL005

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

Для переривання потоку води використаний електромагнітний клапан CEME 8617, сигнал керування 0-220 V AC.



Технічні характеристики:

Пропускна здатність	2,2 м³/год
Мінімальний диференціал тиску	0,3 бар
Напруга живлення	230 V AC
Захист	IP54

Рис. 5.6 – Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики клапану CEME 8617

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

Виконавши аналіз системи автоматизації ТП охолодження 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 в камері	A	I	4...20 mA DC
2	Температура охолоджувальної води	A	I	4...20 mA DC
3	Сигнал авт.вимикача M1	D	I	24 V DC
4	Сигнал стану контактора M1	D	I	24 V DC
5	Сигнал перемикача режиму M1	D	I	24 V DC
6	Сигнал авт.вимикача M2	D	I	24 V DC
7	Сигнал стану контактора M2	D	I	24 V DC
8	Сигнал перемикача режиму M2	D	I	24 V DC
9	Сигнал авт.вимикача M3	D	I	24 V DC
10	Сигнал стану контактора M3	D	I	24 V DC
11	Сигнал перемикача режиму M3	D	I	24 V DC
12	Сигнал датчика-реле тиску води	D	I	24 V DC
13	Сигнал датчика-реле тиску фреону	D	I	24 V DC

Табл. 5.3 (закінчення) – Список параметрів на входах або виходах контролера

№ пп	Найменування параметру	Вид A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході або виході контролера
14	Сигнал датчика-реле тиску фреону	D	I	24 V DC
15	Сигнал керування M1	D	O	24 V DC
16	Сигнал керування M2	D	O	24 V DC
17	Сигнал керування M3	D	O	24 V DC
18	Сигнал керування клапном подачі води	D	O	24 V DC
19	Сигнал керування виконавчим механізмів подачі води	A	O	4...20 mA DC
20	Сигнал керування виконавчим механізмів подачі фреону	A	O	4...20 mA DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:

AI – 2, AO – 2, DI – 12, DO – 4

В системі автоматизації основне та допоміжне технологічне устаткування розташовується в одному приміщенні компактно, тому доцільно обрати також централізовану схему розміщення модулів системи керування.

Систему керування розроблена на базі контролера S7-1500 фірми Siemens. Приміщення цеху опалювальне, що дозволяє використовувати модулі звичайного виконання, а не з розширеним температурним діапазоном, які дорожче. Враховуючи, що центральний процесор і модулі системи мають виконання IP20, тому вони розміщені у настінній шафі зі ступенем захисту IP54 в окремому від технологічного устаткування приміщенні. Для забезпечення теплового балансу у шафі при монтажі модулів витримані наступні рекомендації (рис. 5.7).

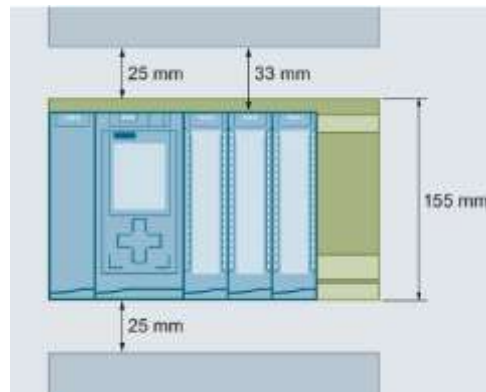


Рис. 5.7 – Рекомендації з монтажу Simatic S7-1500 у шафі

Враховуючи кількість змінних, які необхідно вводити та виводити з контролеру, схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування приймає наступний вигляд (рис. 5.8).

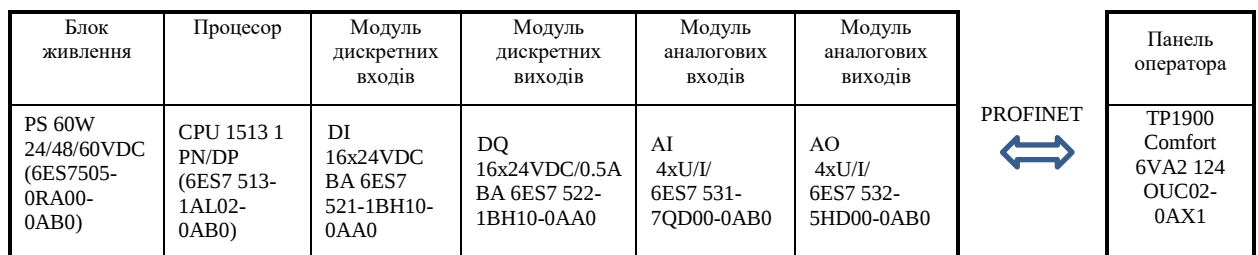


Рис. 5.8 – Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування

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.

Article number	6ES7513-1AL02-0AA0
General information	
Product type designation	CPU 1513-1 PN
HW functional status	F501
Firmware version	V2.5
Engineering with	
• STEP 7 TIA Portal configurable/integrated as of version	V15
Configuration control	
via dataset	Yes
Display	
Screen diagonal [cm]	5.45 cm
Control elements	
Number of keys	8
Mode buttons	2
Supply voltage	
Type of supply voltage	24 V DC
permissible range, lower limit (DC)	19.2 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Reverse polarity protection	Yes
Main buffering	
• Mains/voltage failure stored energy time	5 ms
• Repeat rate, min.	1/s
Input current	
Current consumption (rated value)	0.7 A
Current consumption, max.	0.95 A
Inrush current, max.	1.9 A: Rated value
I _{th}	0.02 A*s
Power	
Infused power to the backplane bus	10 W
Power consumption from the backplane bus (balanced)	5.5 W
Power loss	
Power loss, typ.	5.7 W
Memory	
Number of slots for SIMATIC memory card	1
SIMATIC memory card required	Yes

Work memory	
• integrated (for program)	300 kbyte
• integrated (for data)	1.5 Mbyte
Load memory	
• Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	32 Gbyte
Backup	
• maintenance-free	Yes
CPU processing times	
for bit operations, typ.	40 ns
for word operations, typ.	48 ns
for fixed point arithmetic, typ.	64 ns
for floating point arithmetic, typ.	256 ns
CPU blocks	
Number of elements (total)	2 000; Blocks (OB, FB, FC, DB) and LDTs
OB	
• Number range	1 ... 60 000; subdivided into: number range that can be used by the user: 1 ... 30 000, and number range of OBs created via SFC: 60 000 ... 60 000
• Size, max.	1.5 Mbyte; For non-optimized block accesses, the max. size of the OB is 64 KB
FB	
• Number range	0 ... 65 535
• Size, max.	300 kbyte
FC	
• Number range	0 ... 65 535
• Size, max.	300 kbyte
DB	
• Size, max.	300 kbyte
• Number of free cycle OBs	100
• Number of time alarm OBs	20
• Number of delay alarm OBs	20
• Number of cyclic interrupt OBs	20; With minimum OB 3s cycle of 500 µs
• Number of process alarm OBs	60
• Number of DPV1 alarm OBs	3
• Number of synchronous mode OBs	1
• Number of technology synchronous alarm OBs	2
• Number of startup OBs	100

Рис. 5.9 – Технічні дані CPU 1513 1 PN

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

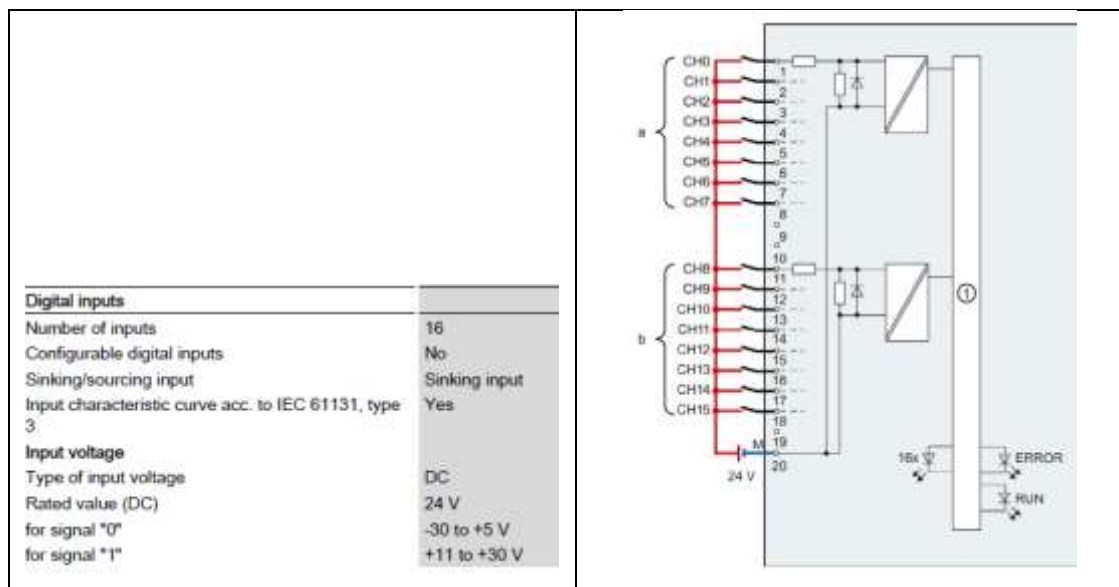


Рис. 5.10 – Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA

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

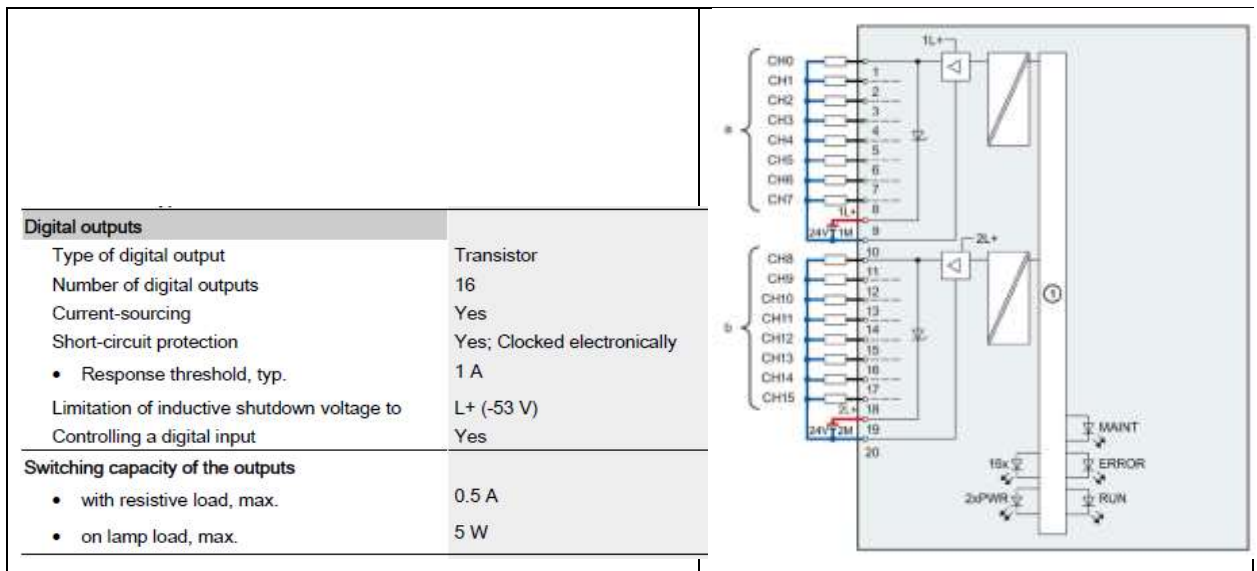


Рис. 5.11 – Технічні характеристики та схема підключень

DQ 16x24VDC/0.5A BA

Для вводу аналогових сигналів обраний модуль AI 4xU/I (6ES7 531-7QD00-0AB0).

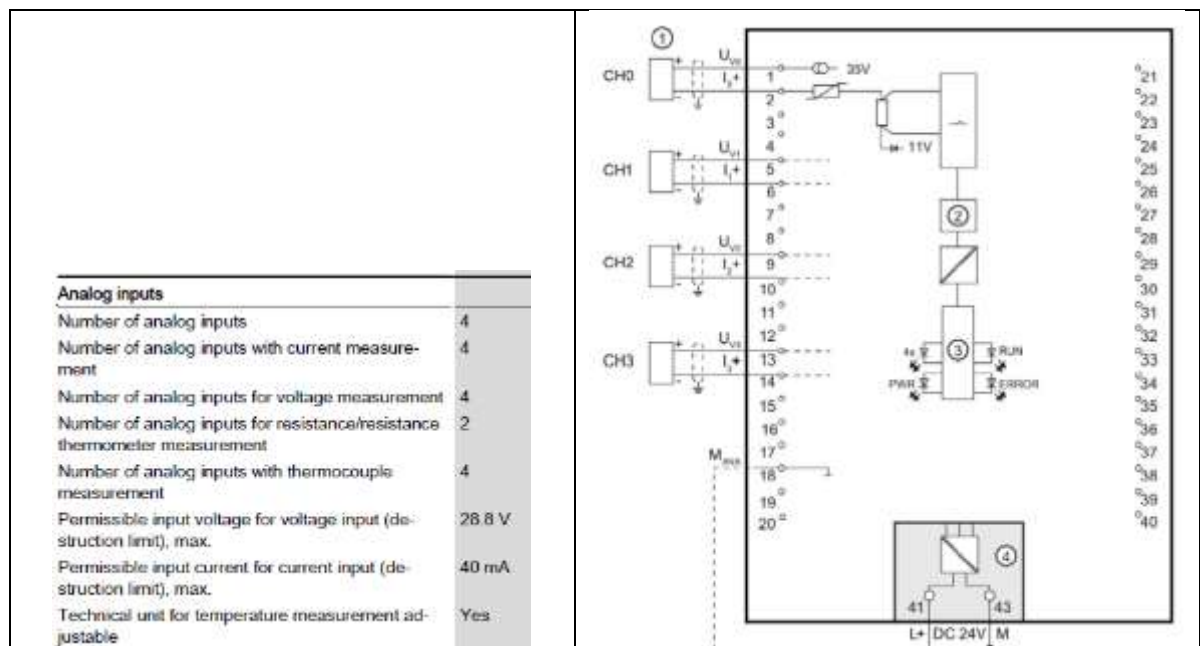


Рис. 5.12 – Технічні характеристики та схема підключень

датчиків сили струму до входів 6ES7 531-7QD00-0AB0

Для виводу аналогових сигналів обраний модуль АО 4xU/I/6ES7 532-5HD00-0AB0

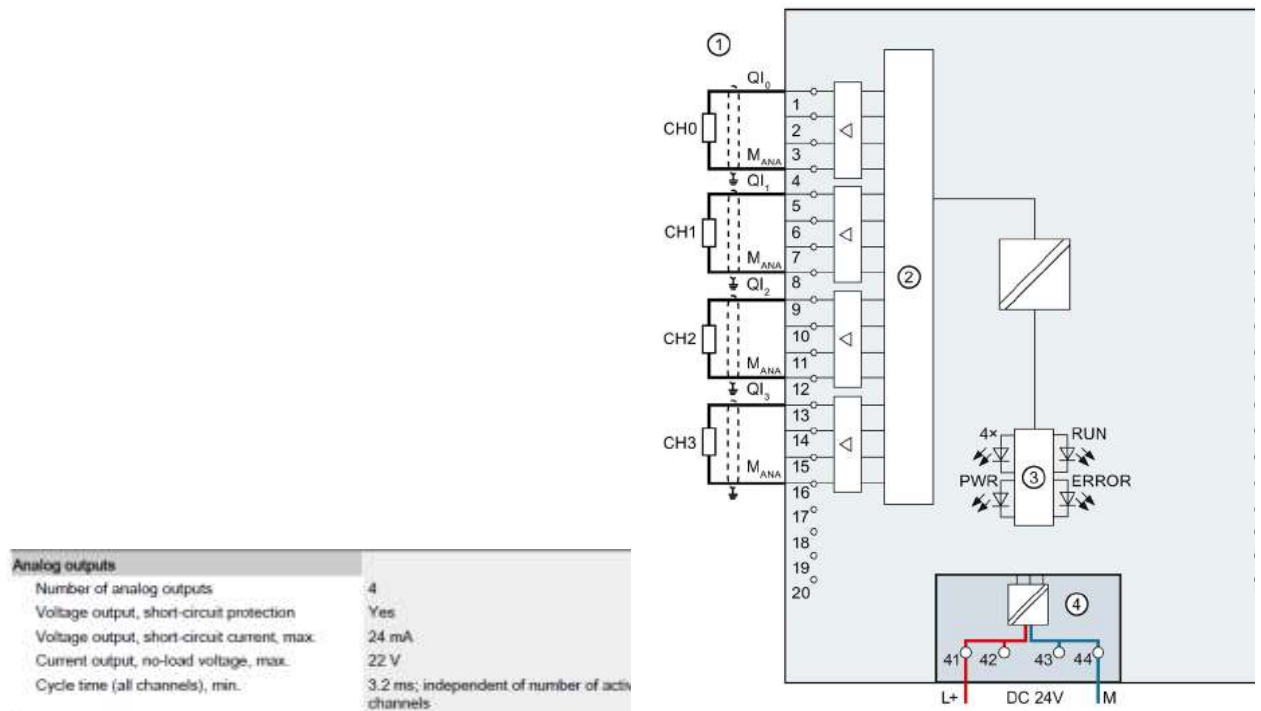


Рис. 5.13 – Технічні характеристики та схема формування уніфікованого струму на виходах 6ES7 532-5HD00-0AB0

5.5 Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів для керування процесом охолодження риби. Класи точності, ступінь захисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Виходи датчиків та входи виконавчих механізмів сумісні з входами/виходами ПЛК. Система керування побудована за централізованою схемою із використанням ПЛК SIMATIC S7-1500 та панелі оператора TP1900 Comfort, об'єднаних по мережі Profinet, що забезпечує можливість її подальшого розвитку.

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

6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж

У середовищі TIA Portal створюємо проект для системи керування процесом охолодження риби в холодильній камері і додаємо до його складу контролер CPU 1516-3 PN / DP та панель оператора TP1900 Comfort, які за своїми технічними характеристиками відповідають поставленій задачі автоматизації.

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

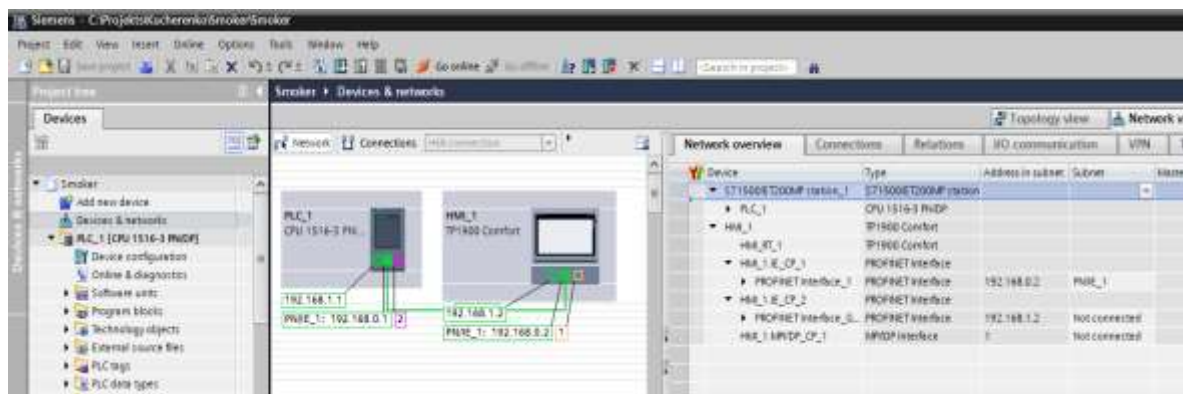


Рис. 6.1 – Визначення складу технічних засобів проекту САК системи керування процесом охолодження риби в холодильній камері

На вкладці Properties контролера (CPU) встановлюємо можливість користуватися байтами системної пам'яті та байтами часової пам'яті (рис. 6.2). Це важливо для виконання алгоритмів керування камерою охолодження риби.

Далі обираємо з каталогу необхідні модулі вводу/виводу, перетягуємо їх за допомогою миші в поле редагування з бібліотеки (рис. 6.3) Присвоюємо імена фізичним входам і виходам і виконуємо конфігурування модулів ПЗО,

для чого обираємо тип і діапазони зміни вхідних та вихідних сигналів (рис. 6.4)

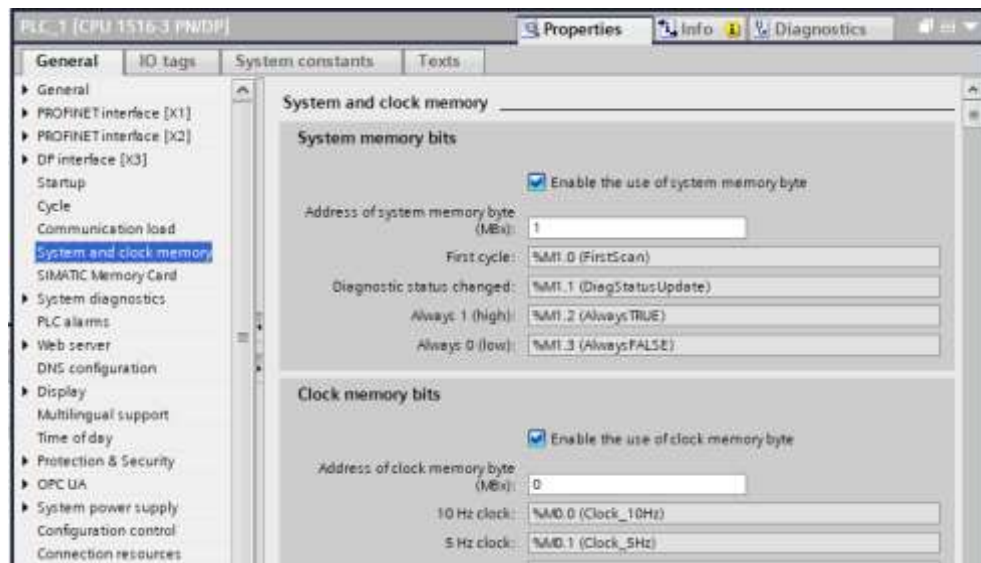


Рис. 6.2 – Приклад використання системних областей пам'яті CPU

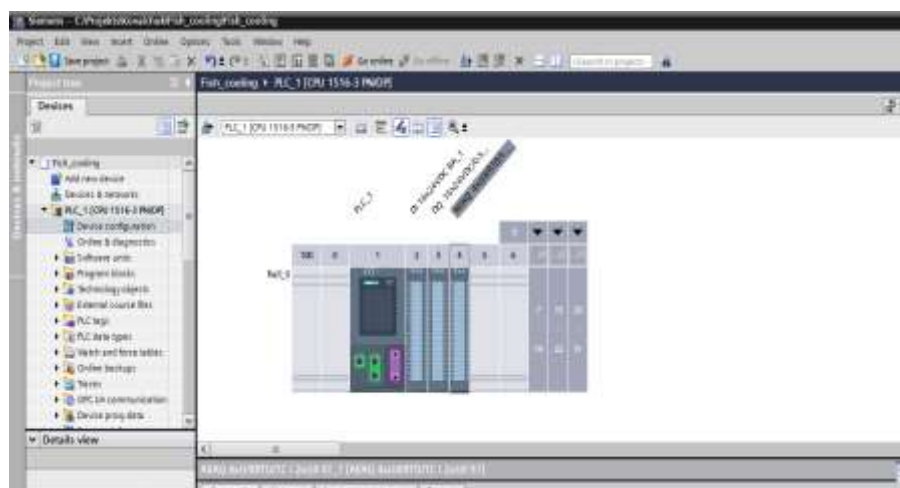


Рис. 6.3 – Приклад визначення ЦПМ та модулів ПЗО.

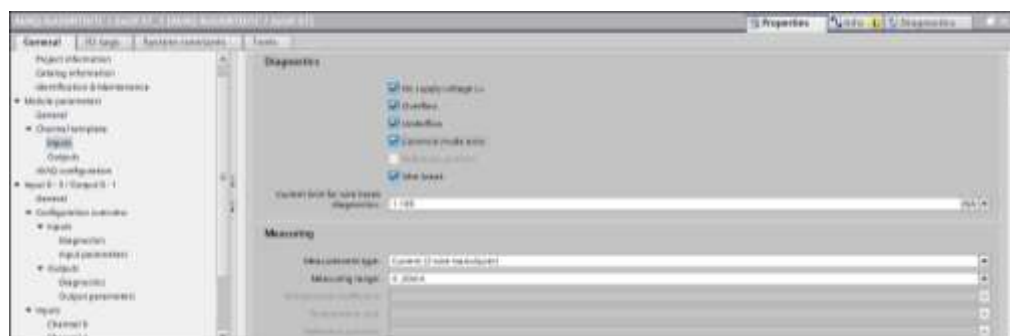


Рис. 6.4 – Приклад визначення виду вхідного сигналу і діапазону його зміни для аналогового модуля

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

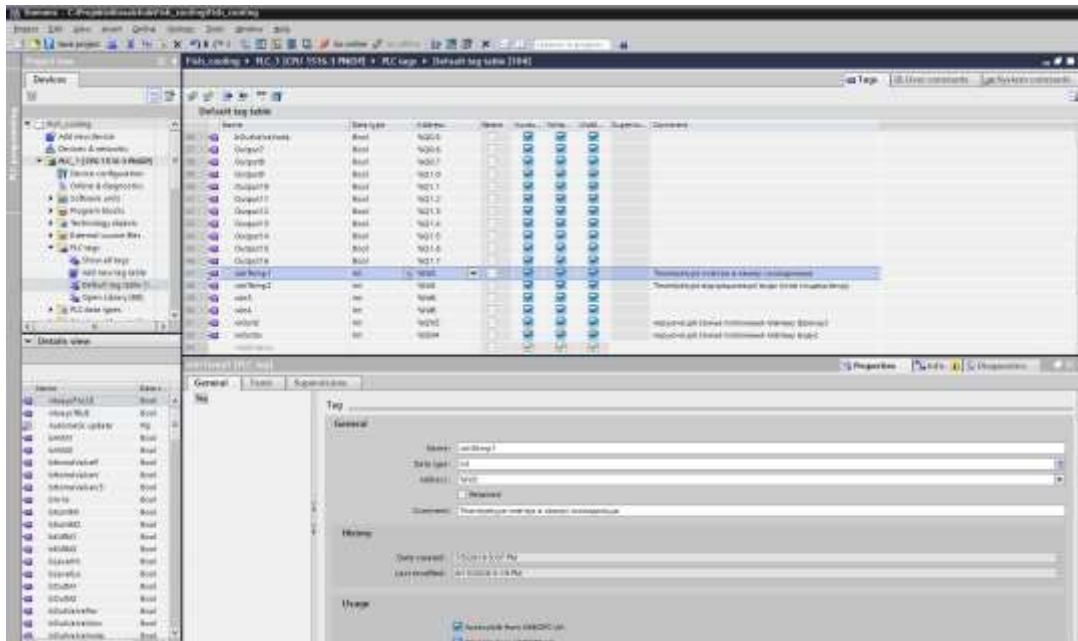


Рис. 6.5 – Фрагмент вікна таблиці тегів

6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування

В дереві каталогу проекту створюємо два підкаталоги: Cyclic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи регулювання температури повітря в камері охолодження риби і температури відпрацьованої води, та Logic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи логічного керування процесом охолодження риби в холодильній камері.

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

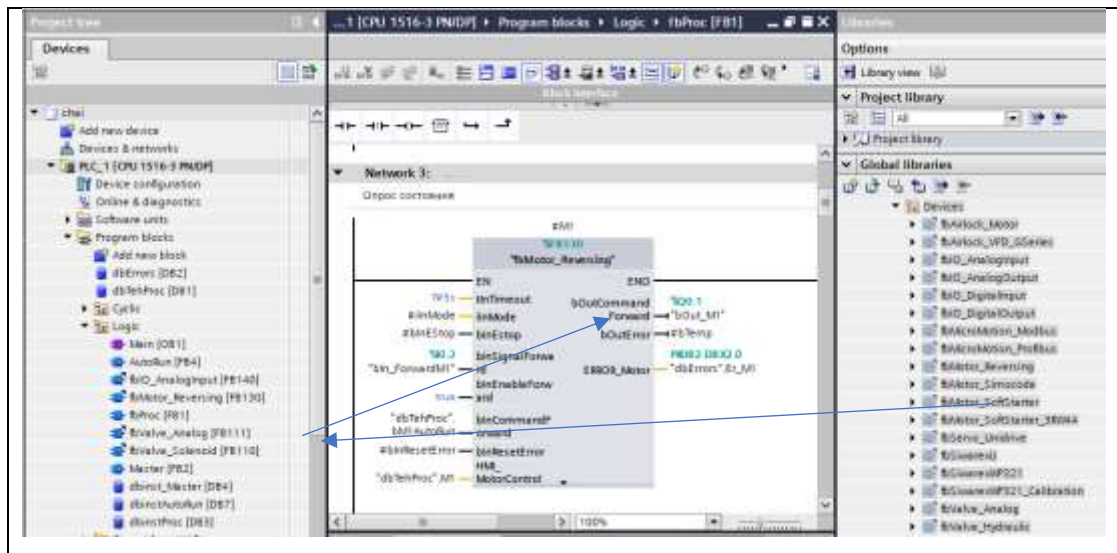


Рис. 6.6 – Приклад додавання функціонального блоку FB Motor в проект системи керування процесом охолодження риби в холодильній камері

Основні функціональні можливості цих блоків:

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

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

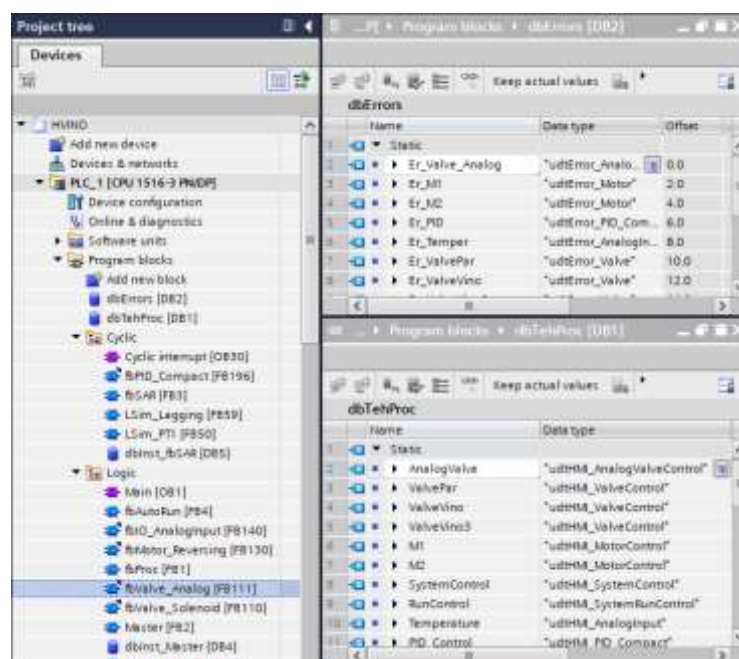


Рис. 6.7 – Створення глобальних dbTehProc, dbErrors

Створення підпрограм логічного керування.

Спочатку розробляємо підпрограму fbProc опитування стану обладнання, а саме електроприводів компресорів M1,M2 і вентилятору M3, аналогових, та відсічних клапанів. Створюємо інтерфейс цього функціонального блоку, в якому в розділах Input, Output, Static, Temp вказуємо імена змінних та їх типи.

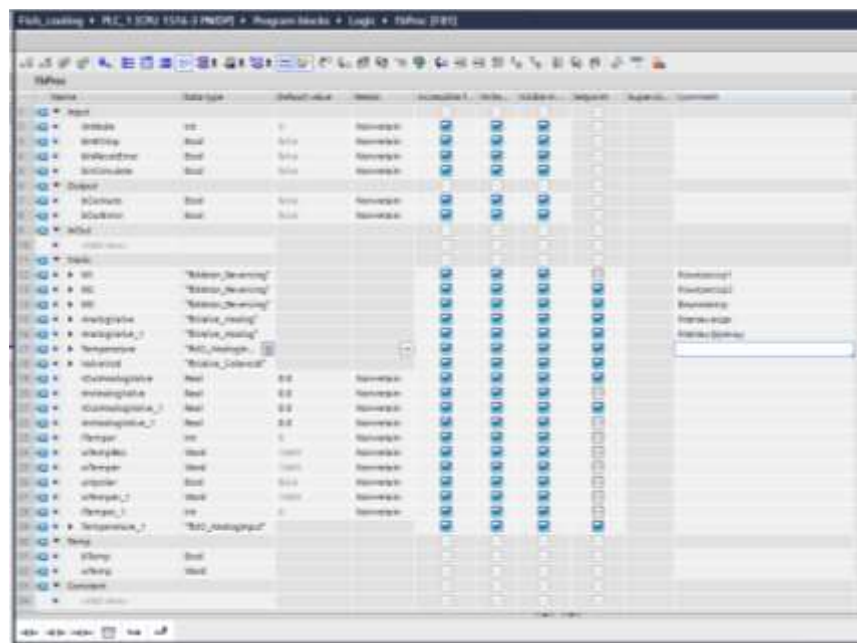


Рис. 6.8 – Інтерфейс програмного блоку fbProc

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

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

Рис. 6.10 – Фрагмент підпрограми fbProc

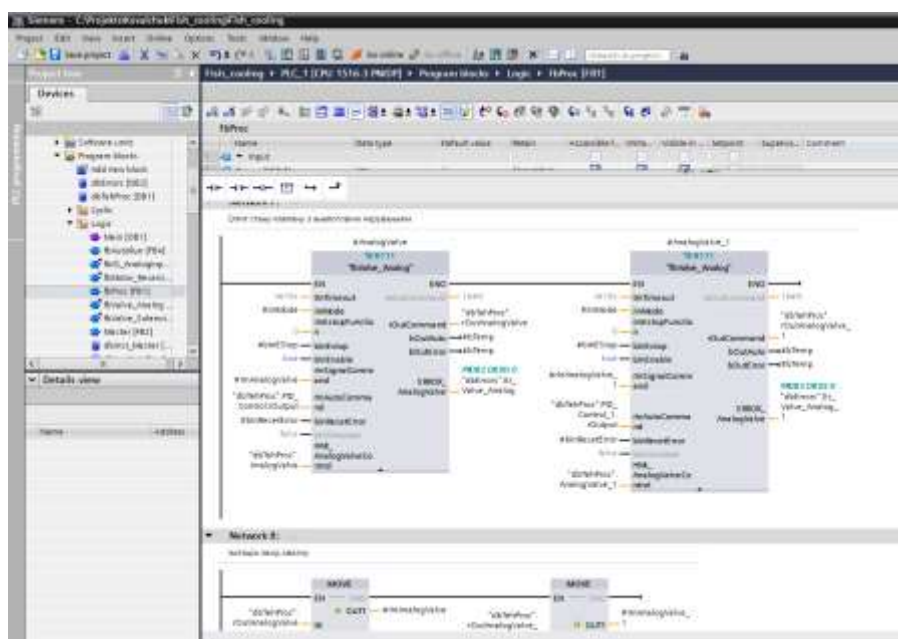


Рис. 6.11 – Фрагмент підпрограми fbProc.

В кінці програми проводяться перевірки режиму роботи та похибок обладнання (клапанів та двигунів).

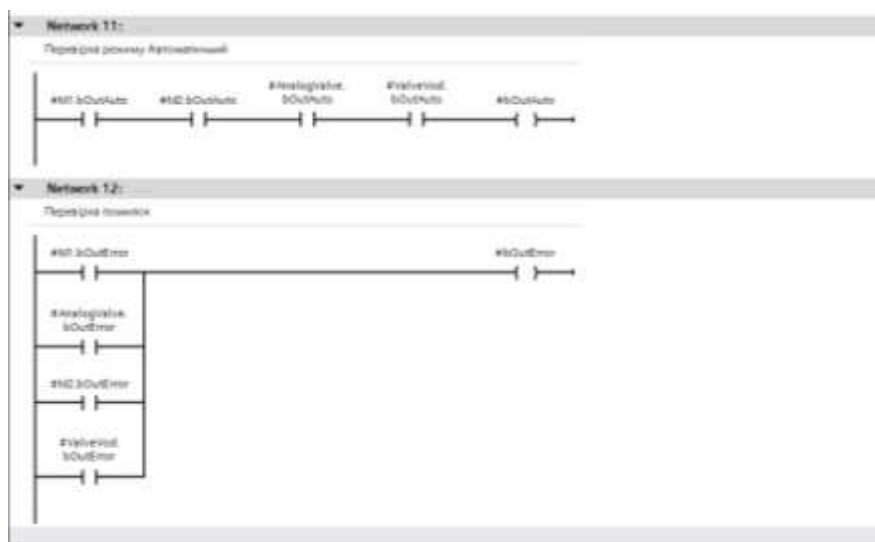
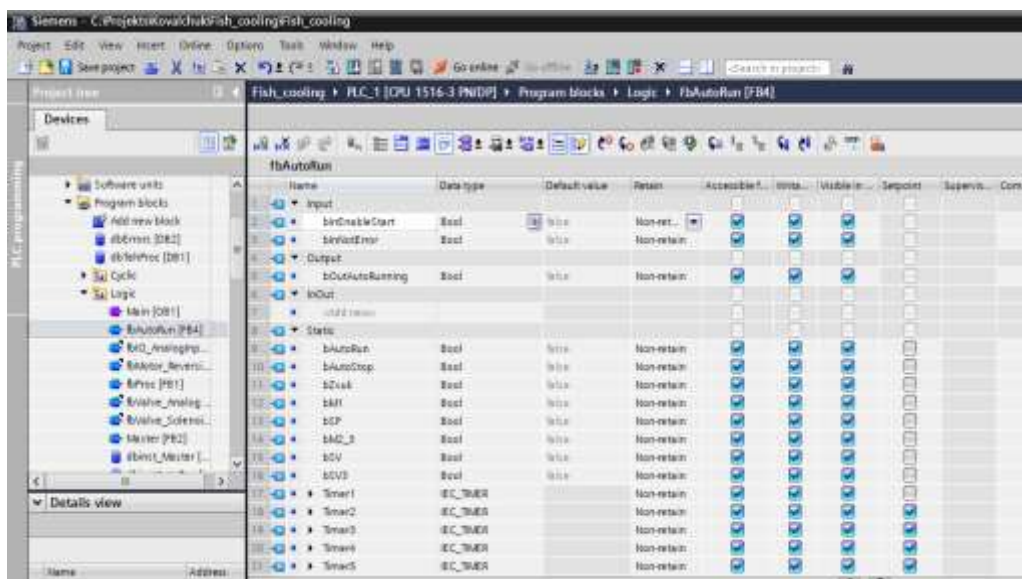


Рис. 6.12 – Фрагмент підпрограми fbProc.

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

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



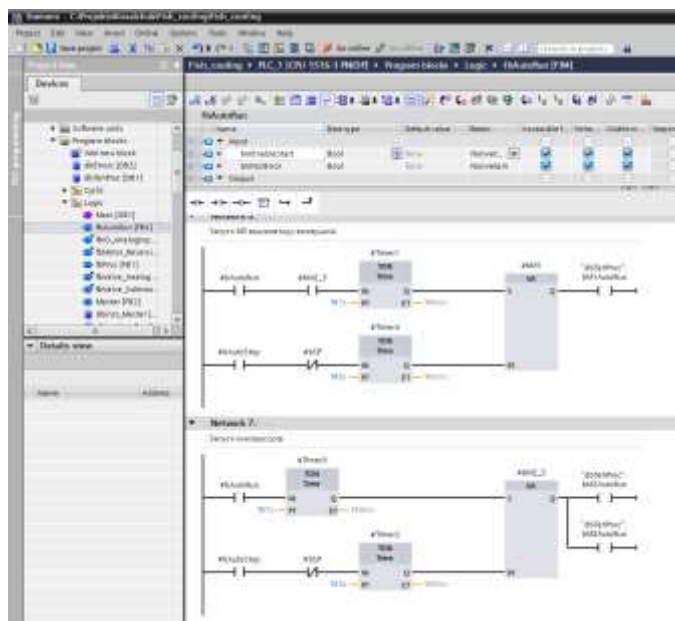


Рис. 6.15 – Фрагмент підпрограми fbAutoRun.

Завершують підпрограму строки із визначенням режиму роботи «ручний-автоматичний» ПД-регулятора (рис. 6.16).

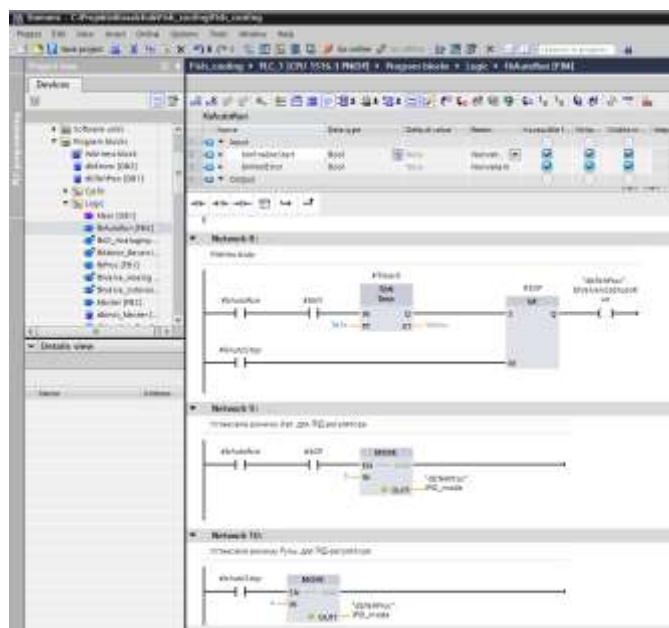


Рис. 6.16 – Фрагмент підпрограми AutoRun

Виклик на виконання підпрограм fbProc та fbAutoRun здійснюється в підпрограмі Master (рис. 6.17), яка в свою чергу викликається на виконання в головній програмі Main (OB1). Це відповідає загальному принципу побудови програм у контролері.



Рис. 6.17 – Інтерфейс та текст підпрограми Master

Циклічне виконання цих підпрограм забезпечує опит стану обладнання камери охолодження риби, його автоматичний пуск і зупинку.

6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання

Алгоритми регулювання для процесу охолодження риби були розроблені і протестовані в розділах 1..3, де були визначені параметри моделі об'єкту керування і параметри ПІД-регуляторів.

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

Моделі САР запрограмована спрощено з використанням функціональних блоків типового регулятора fbPID_Compact та типових динамічних ланок з бібліотеки LSim (FB LSim_Lagging і FB LSim_PT1), що

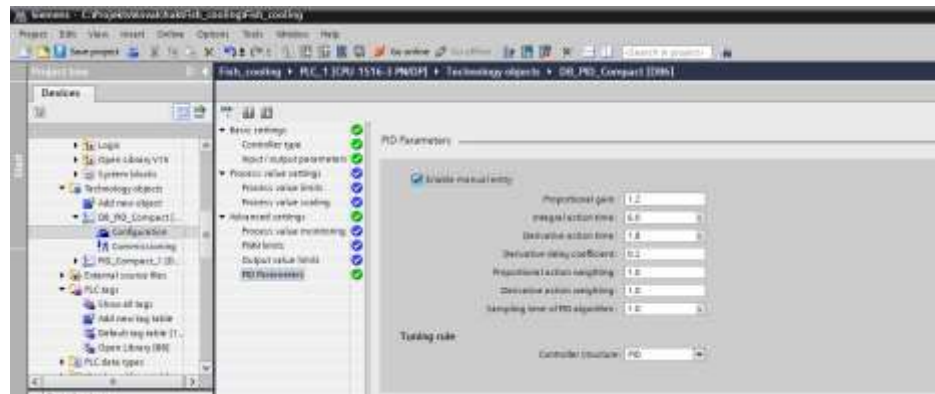


Рис. 6.20 – Приклад налаштування параметрів ПІД-регулятора

Вихідні сигнали ПІД-регуляторів підключаються до входів функціональних блоків аналогових клапанів (див. рис. 6.11).

Далі за допомогою екземплярів типових ланок: запізнення LSim_Lagging та інерційної ланки першого порядку LSim_PT1, викликається на виконання модель ОК (рис. 6.21). Модель ОК спрощена, але параметри моделі відповідають значенням, розрахованим в розділі 3.

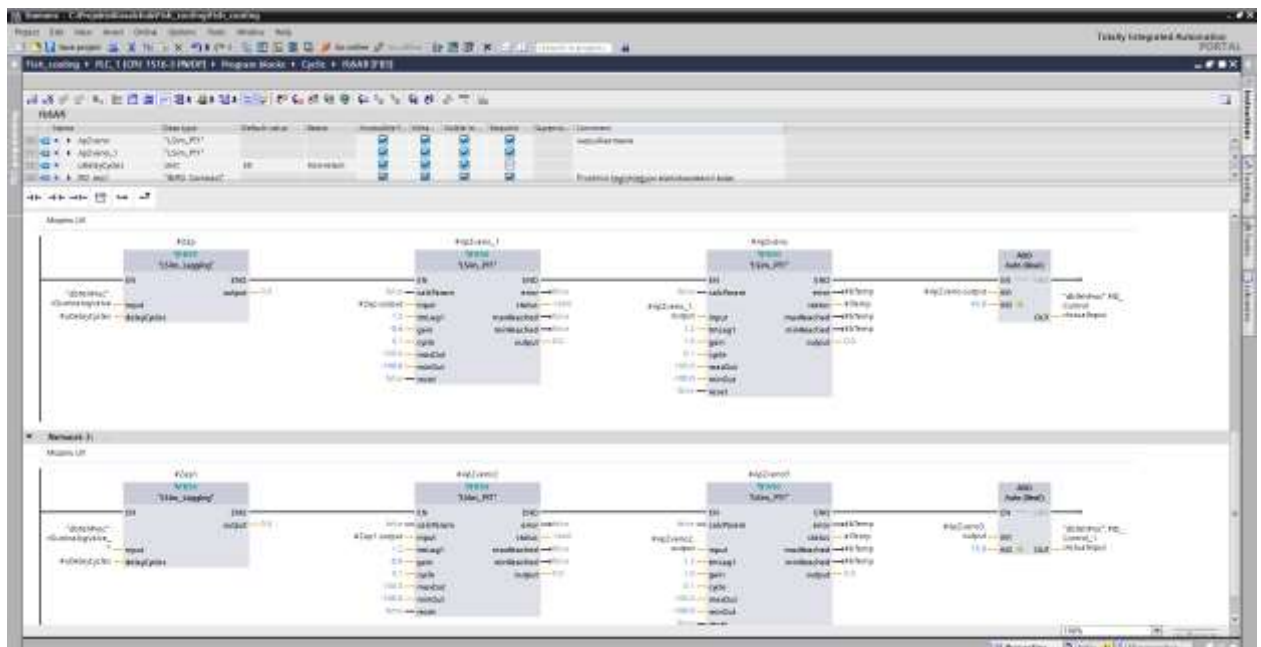


Рис. 6.21 – Фрагмент функціонального блоку fbSAR, що реалізує модель ОК

Тестування проекту і налаштування програмних модулів проводиться в режимі емуляції контролера з використанням програми S7 PLCSIM. На рисунку 6.22 представлений загальний вигляд вікна емулятора контролера з працюючою в ньому програмою.

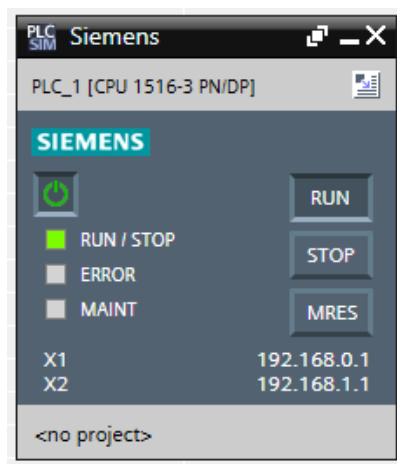


Рис. 6.22 – Вигляд вікна програми PLCSIM

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

6.4 Висновки за розділом

В результаті виконання даного розділу було проведено програмне конфігурування контролерів фірми Siemens сімейства S7-1500 та розроблено програмне забезпечення САК процесом охолодження риби в камері яке реалізує алгоритми логічного керування та регулювання. Програмне забезпечення реалізовано в середовищі TIA Portal. Тестування підтвердили коректність роботи програми.

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

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

Для організації зв'язку між контролером та панеллю оператора системи керування процесом охолодження риби в холодильній камері вибираємо тип сполучення «HMI connection» та встановлюємо унікальні адреси технічних засобів в мережі PROFINET.

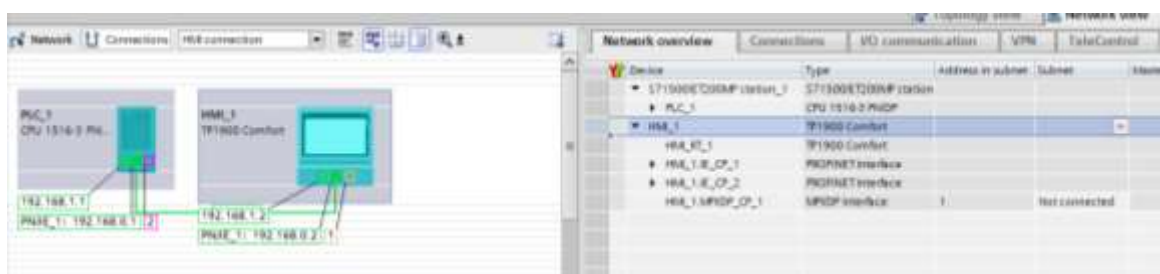


Рис. 7.1 – Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх сполучення в мережі

Конфігурування панелі оператора TP 1900 Comfort виконуємо в розділі Runtime settings дерева каталогу проекту системи керування процесом охолодження риби в холодильній камері.

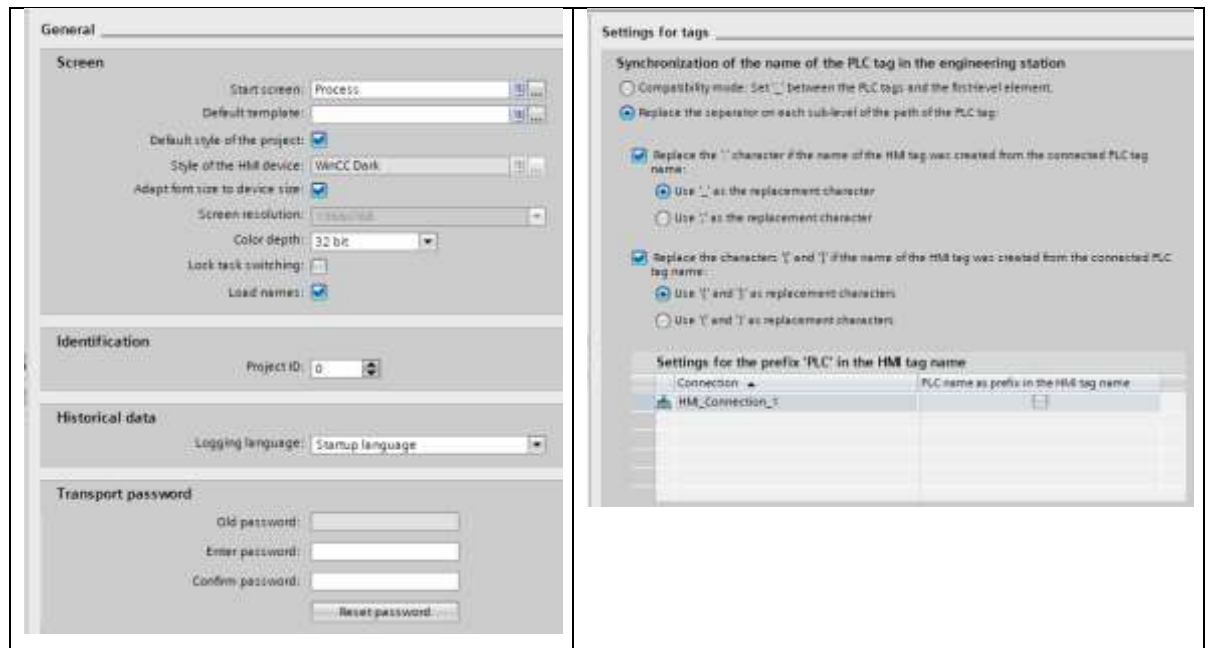


Рис. 7.2 – Конфігурування TP 1900 Comfort

Щоб пов'язати між собою теги ПЛК та НМІ для САК процесом охолодження риби в холодильній камері, створюємо таблицю НМІ-тегів Default tag table, куди за допомогою миші перетаскуємо складові блоку даних ПЛС dbTechProc.

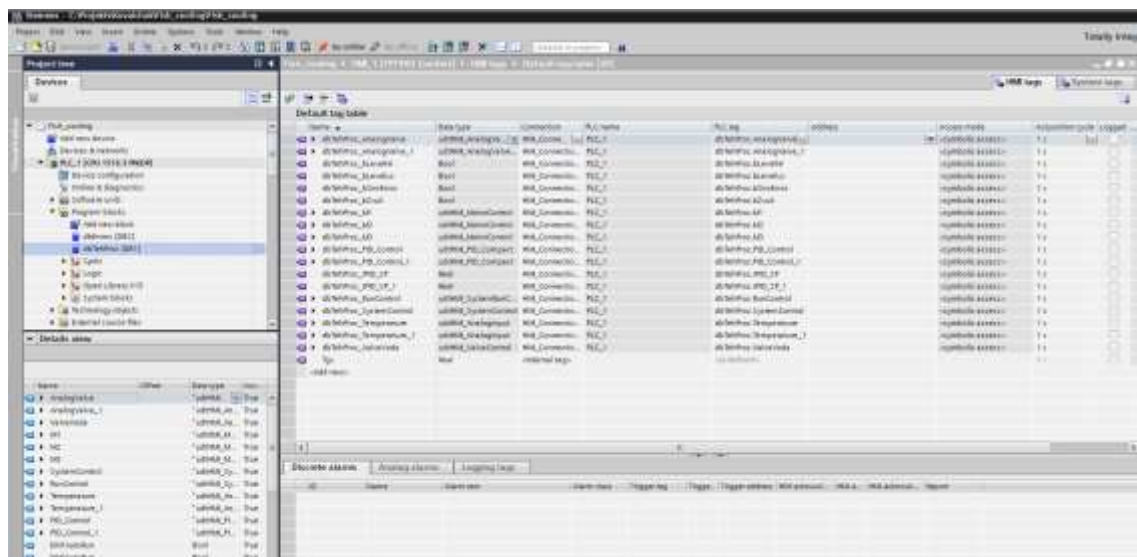


Рис. 7.3 – Приклад створення таблиці НМІ-тегів при реалізації САК процесом охолодження риби в холодильній камері

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 охолодження риби в холодильній камері:

- екран схеми установки для керування технологічним процесом охолодження риби в холодильній камері;

- екран для спостереження за регульованими змінними (температура повітря в камері та температура відпрацьованої води);

- екран для відтворення діагностичних повідомлень про роботу технологічного агрегату (камери копчення).

Функції екранів АРМ оператора-технолога:

- екран схеми установки надає функції керування усіма клапанами 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 регуляторів температури;

- екран для відтворення діагностичних повідомлень надає можливість бачити повідомлення про несправності обладнання камери охолодження риби, а також перегляду повідомлень, які зберігаються в архіві.

7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога

Шаблон екранів.

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

Шаблон екранів включає заголовок екрану і меню перемикавання екранів АРМ. Він включає логотипи академії, елемент відображення поточної дати і часу, назву проекту, прізвище розробника проекту.



Рис. 7.4 – Загальний вигляд шаблону екранів для АРМ оператора холодильної камери

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 перемикавання екранів графічного інтерфейсу

Для кожної одиниці обладнання створюємо спливаючі вікна Pop-up screens і заповнюємо їх з відповідного розділу бібліотеки SOL.

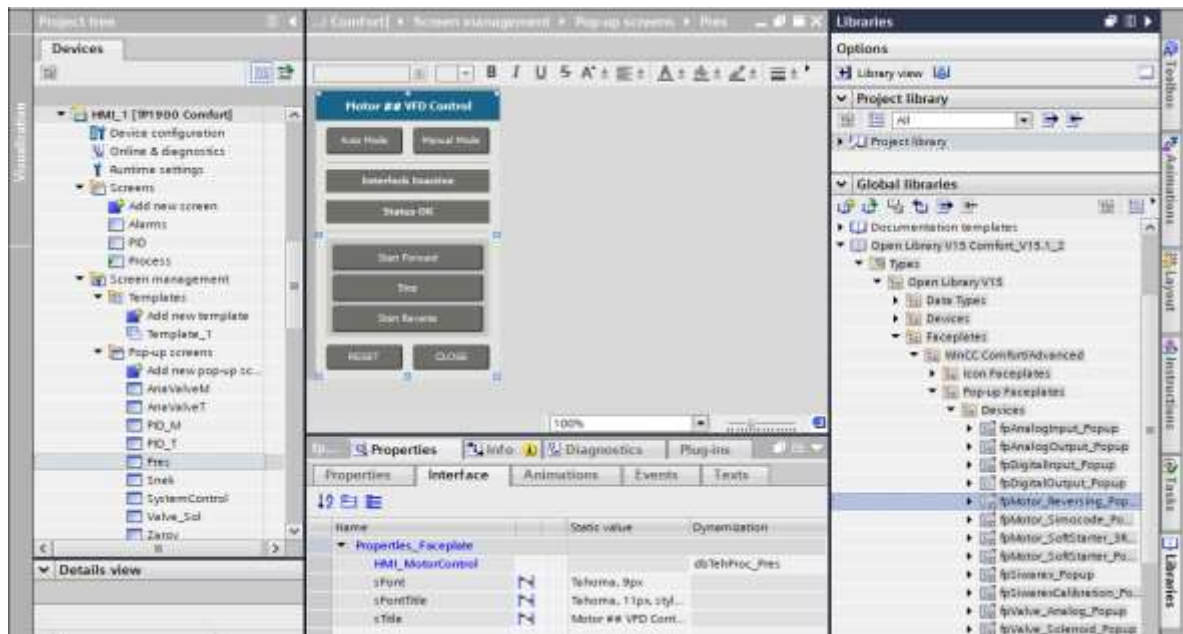


Рис. 7.6 – Приклад створення спливаючих вікон для керування окремим обладнанням камери охолодження риби

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.

Основний екран «Схема установки» містить схематичне зображення камери охолодження риби з нанесеними на нього елементами відображення і керування. 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 камери.

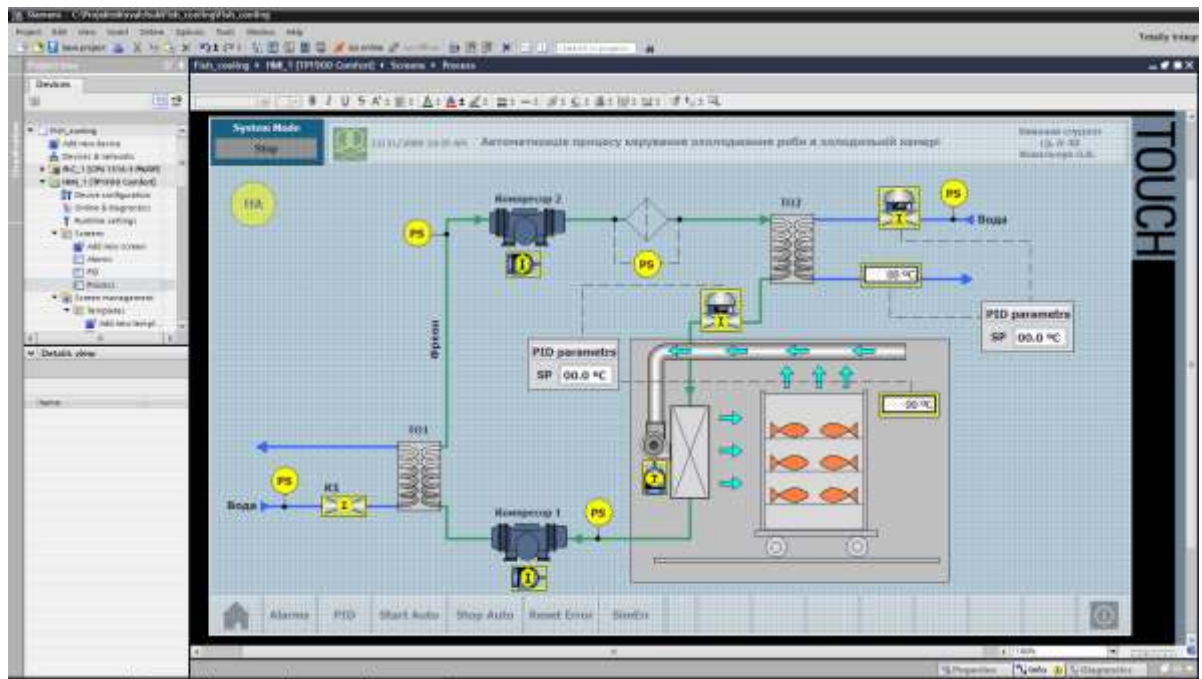


Рис. 7.7 – Екран схеми установки охолодження риби

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

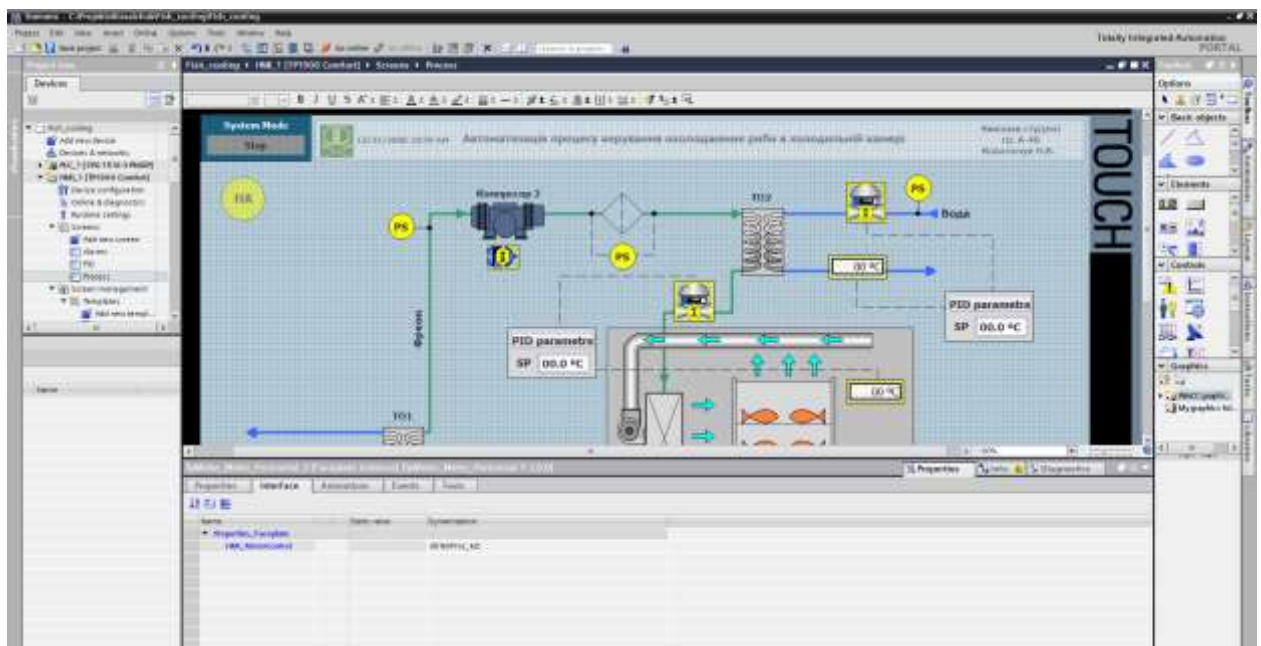


Рис. 7.8 – Приклад налаштування піктограми електроприводу

Натискання на зображення піктограми забезпечить відкривання зображення відповідногопливаючого 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. 7.9).

Для побудови графіків зміни температури повітря в камері та температури відпрацьованої води використовується елемент Trend View із стандартної бібліотеки. Приклад його налаштування наведений на рис. 7.10.

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

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

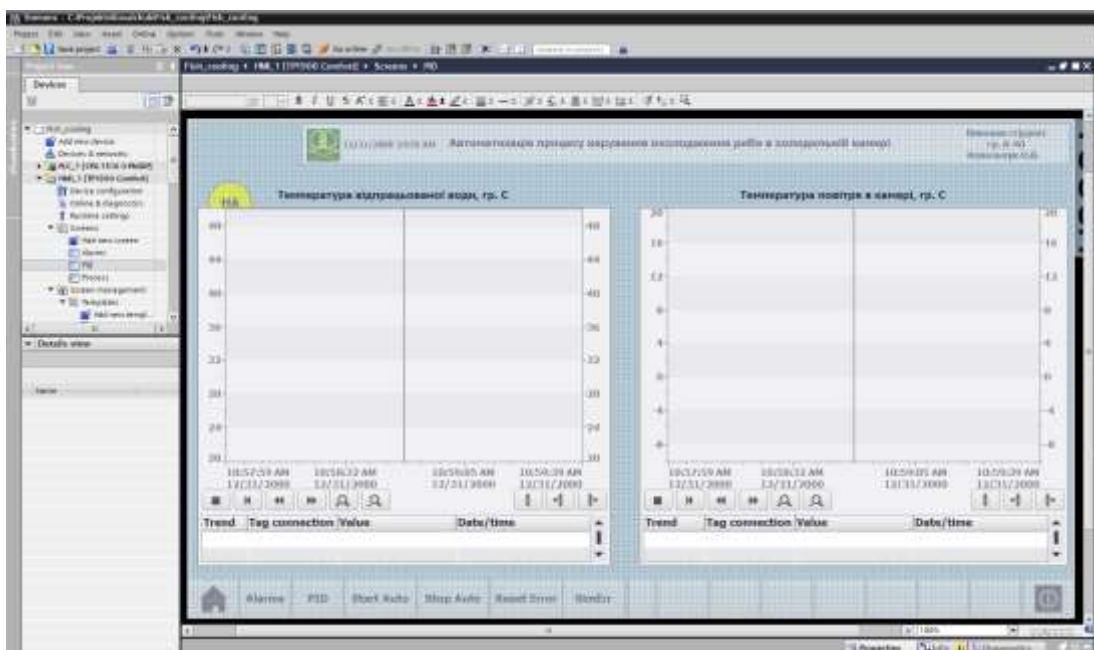


Рис. 7.9 – Екран графіків

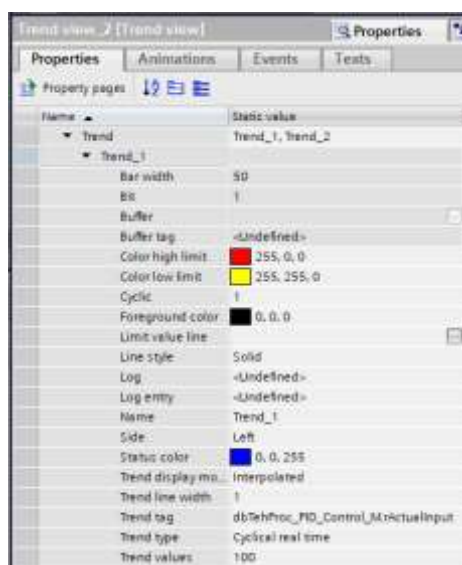


Рис. 7.10 – Вікно налаштування елементу Trend

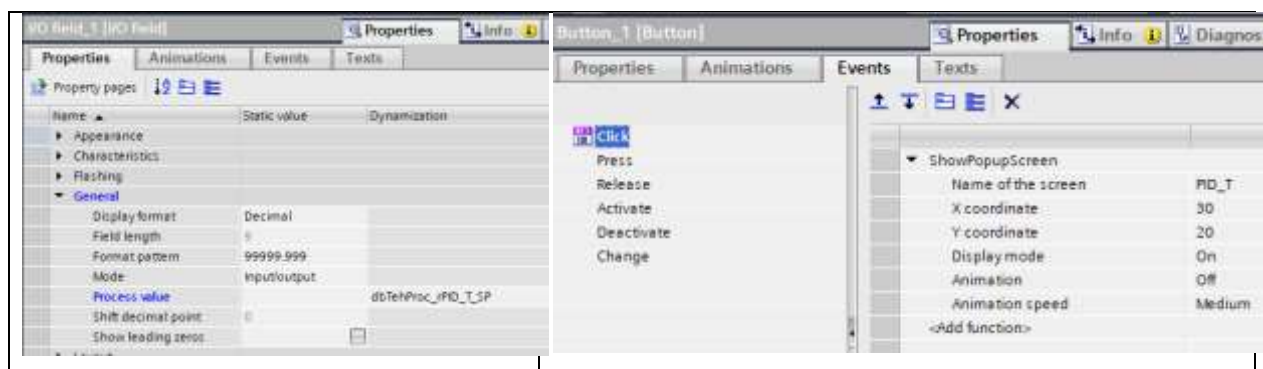


Рис. 7.11 – Налаштування вікна вводу/виводу та кнопки

Для інформування оператора про стан технологічного процесу охолодження риби і виникнення подій (Alarm) з обладнанням камери 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 НМІ.

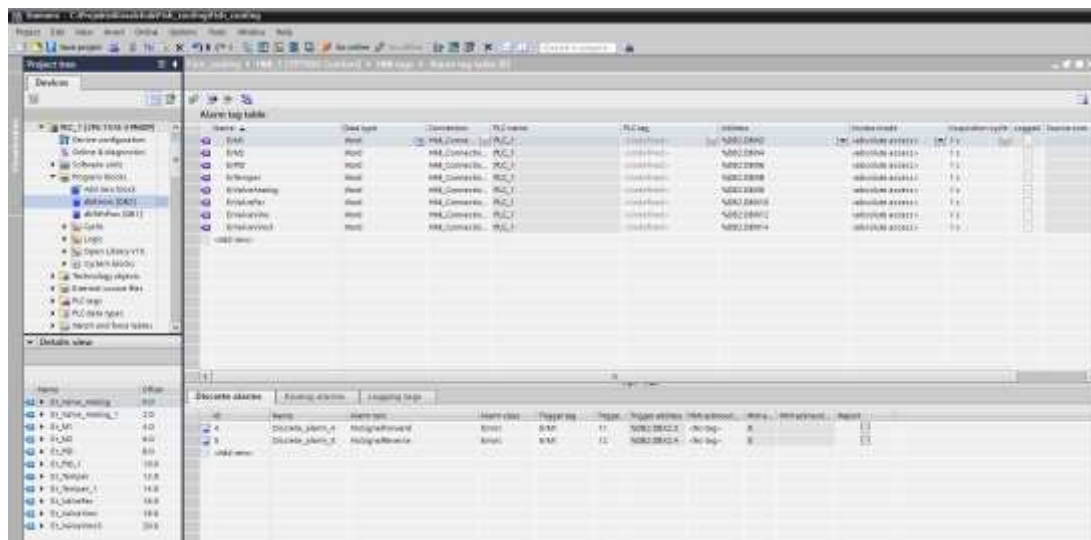


Рис. 7.12 – Приклад прив'язки тегів dbErrors з НМІ-тегами для обладнання камери охолодження риби

Кожний біт НМІ-тега з Alarm tag table сортуємо по типам та по класам Errors або Warnings (див. рис. 7.12). Кожному з цих бітів відповідає своє повідомлення (Alarm text). Для відображення цих повідомлень для оператора створюємо екран Alarms (див. рис. 7.13).

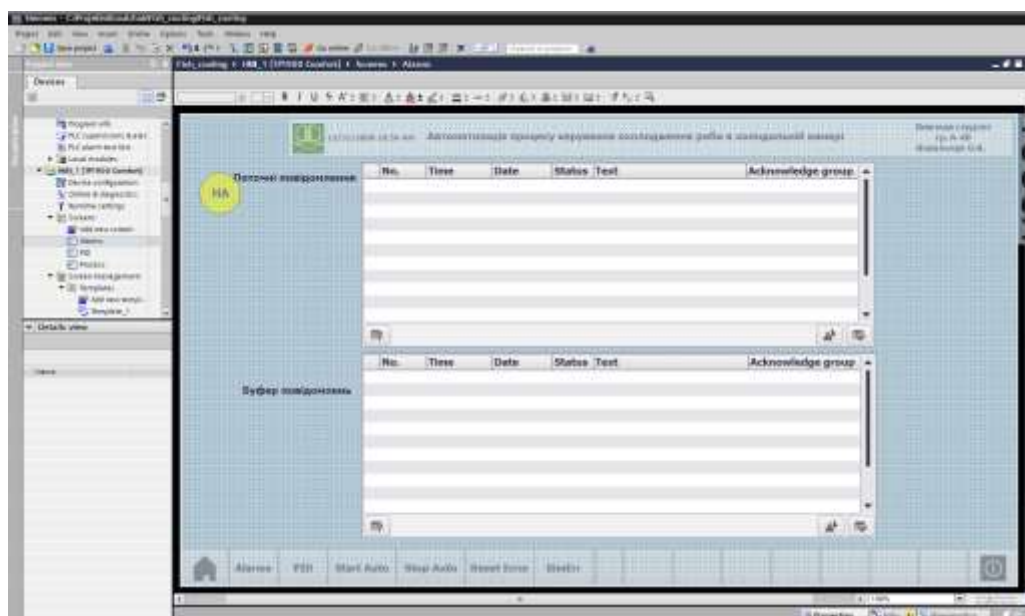


Рис. 7.13 – Екран Alarms повідомлень про несправності камери охолодження риби

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

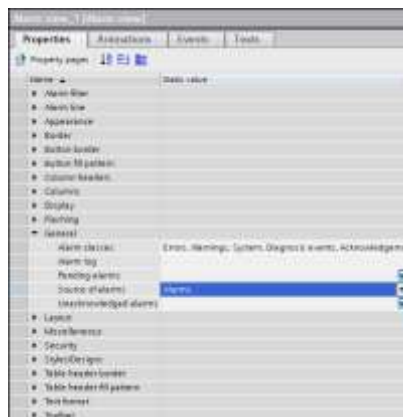


Рис. 7.14 – Налаштування властивостей елемента Alarm View

При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів.

7.5 Тестування системи керування

Тестування роботи САК камерою охолодження риби проведемо в режимі емуляції контролера з використанням програми S7-PLCSIM, в середовищі якої завантажуюємо проект ПЛК після його компіляції.

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

В залежності від вимог виробництва оператор має змогу налаштувати систему на режими: стоп, ручний, автоматичний, індивідуальний. На рис. 7.16 – 7.20 наведено приклади вікон HMI – оператора.

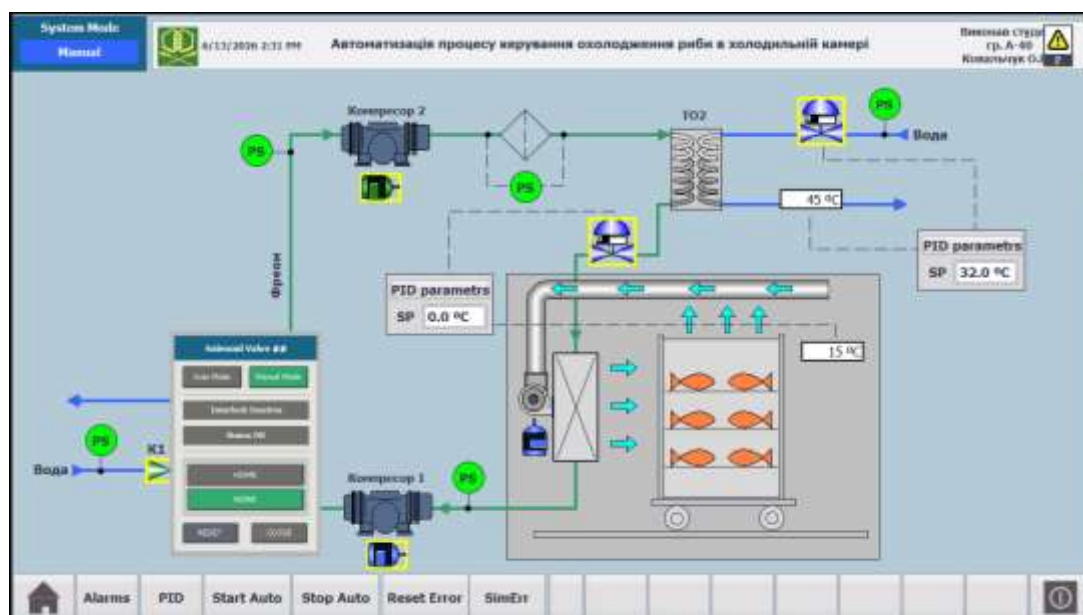


Рис. 7.16 – Схема установки з охолодження риби в ручному режимі

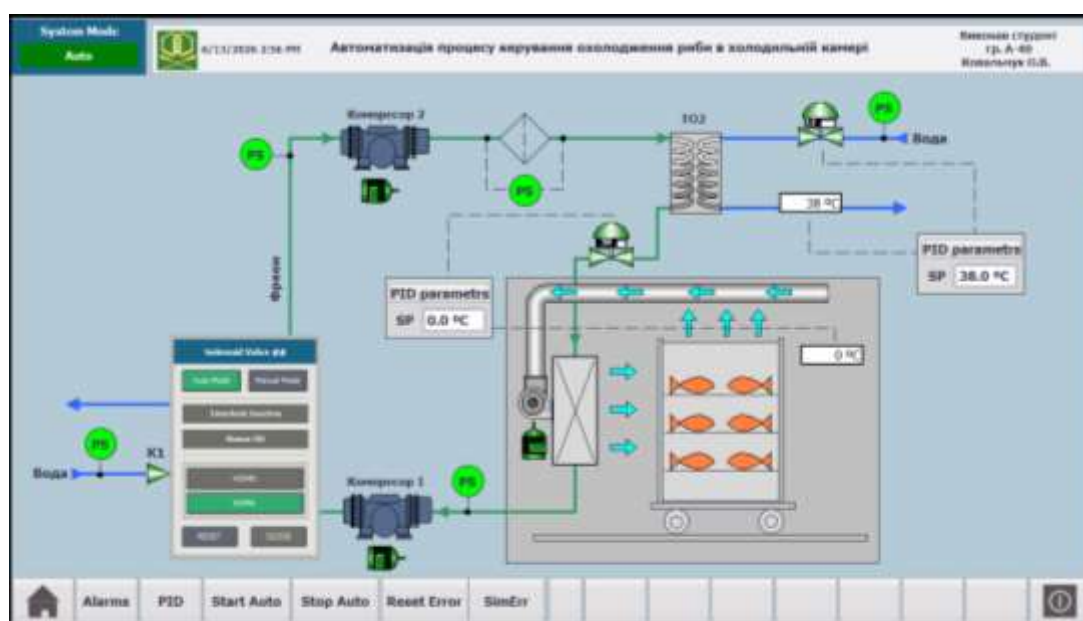


Рис. 7.17 – Схема установки з охолодження риби в автоматичному режимі

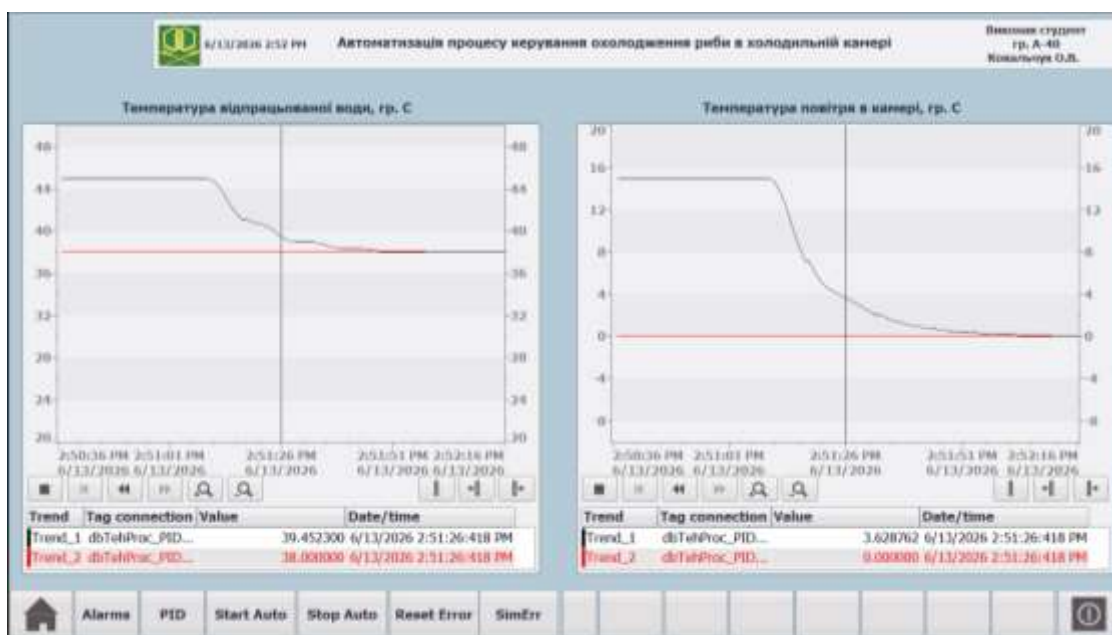


Рис. 7.18 – Екран PID з відображенням температури повітря в камері та температури відпрацьованої води в тестовому режимі

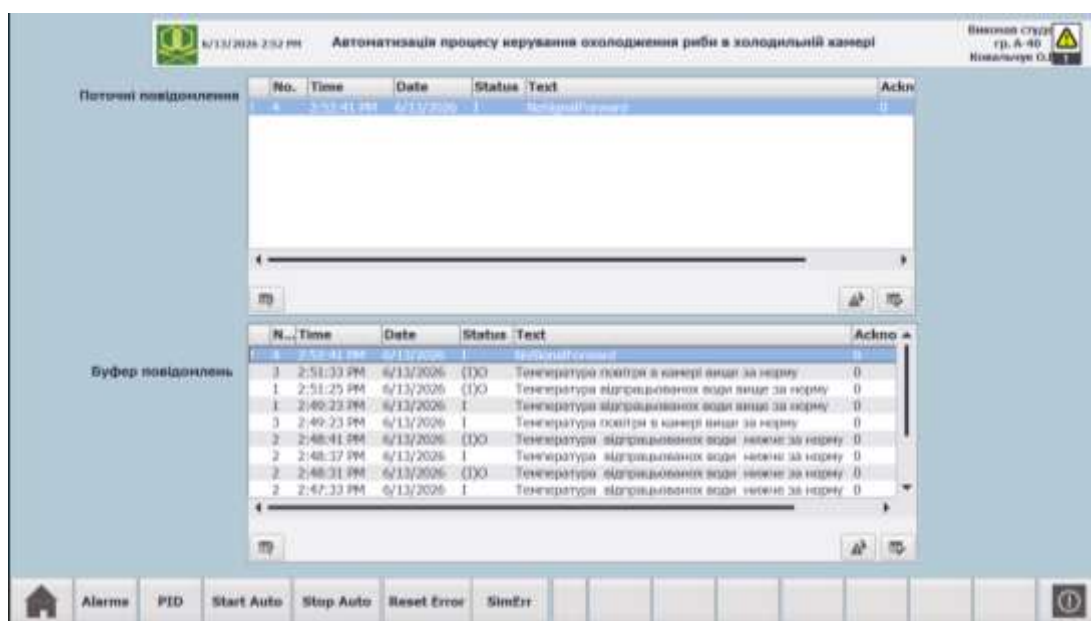


Рис. 7.19 – Екран Alarms в тестовому режимі при імітації несправності обладнання (двигуна M1) камери охолодження риби

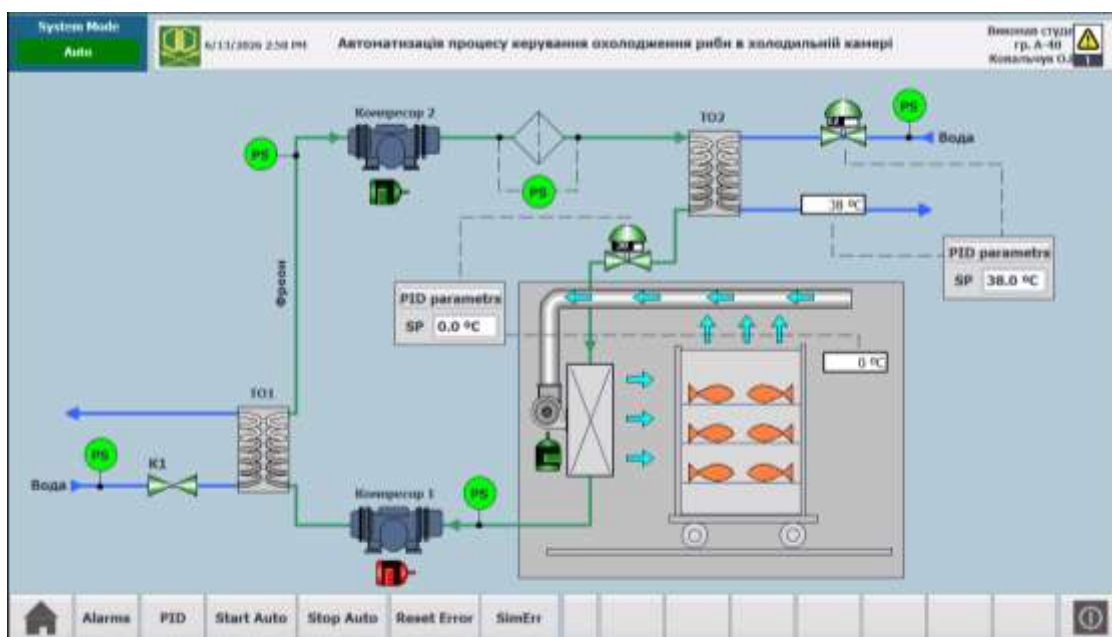


Рис. 7.20 – Головний екран в тестовому режимі при імітації несправності обладнання (двигуна М1) камери охолодження риби

7.6 Висновки за розділом

У цій частині роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи керування технологічним процесом охолодження риби в холодильній камері. Створені екран для відображення схеми камери для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу (температури відпрацьованої води та температури повітря в камері) та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування.

Тестування системи в цілому продемонструвало її працездатність 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

Для реалізації системи автоматичного керування (САК) ділянкою охолодження риби запропонована наступна технічна структура, що покращує завадостійкість системи керування (рис. 8.1).

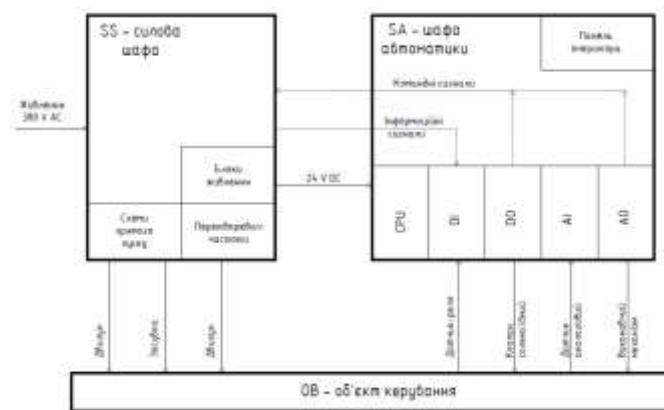


Рис. 8.1 – Структура САК

В силовій шафі розміщені технічні засоби для керування електроприводами та блоки живлення. В даній роботі вона детально не розглядається.

В шафі автоматики розміщені технічні засоби інтелектуальної частини САК. Таке технічне рішення дозволяє зменшити вплив струмів, які протікають по силовим кабелям, на роботу ПЛК і панелі оператора.

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

Графічні:

- 1 – схему автоматизації;
- 2 – принципову електричну схему (ПЕС) керування електроприводу;

- 3 – ПЕС живлення;
- 4 – схему мережевих зв'язків;
- 2 – ПЕС підключення до блоку дискретних входів ПЛК;
- 3 – ПЕС підключення до блоку дискретних виходів ПЛК;
- 4 – ПЕС підключення до блоку аналогових входів ПЛК;
- 5 – ПЕС підключення до блоку аналогових виходів ПЛК.

Текстові:

- попередній перелік обладнання до всіх графічних документів;
- дану пояснювальну записку 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.

ПЛК складається з центрального процесора та модулів вводу-виводу. Центральний процесор CPU 1513, що реалізує основні функції контролю та регулювання, оснащений інтерфейсом PROFINET.

Всі модулі вводу/виводу серії SIMATIC S7-1500 та CPU монтуються на DIN-рейку 35 мм в шафі оператора. Вони використовуються для отримання інформації з датчиків безперервних і дискретних сигналів, а також для видачі керуючих сигналів на виконавчі механізми для підтримки регламентних значень регульованих змінних, а також передачі даних на панель оператора. CPU та модулі забезпечують виконання наступних основних функцій:

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

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

8.2 Розробка схеми автоматизації

Схема автоматизації технологічного процесу є основним документом, що визначає функціональну структуру, обсяг автоматизації і роз'ясняє процеси, що протікають у функціональних ланцюгах. Вона складена відповідно до ДСТУ ISO 14617-6:2018 «Графічні умовні позначки для схем. Частина 6. Функції вимірювання та керування». Функції автоматичного регулювання й логіко-програмного керування, виконує ПЛК сумісно з панеллю оператора. Всі використані датчики вхідних аналогових сигналів обрані з уніфікованим струмовим сигналом (4...20мА DC), вихідні аналогові сигнали струму (4...20мА DC) контролера сприймаються виконавчими механізмами. Дискретні вхідні сигнали від датчиків-реле мають діапазон 0/24 V DC, так само як командні сигнали з контролера.

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

- 1 – 3 керування та контроль стану електроприводів M1, M2; M3;
- 4 – керування та контроль стану клапану FV4;
- 5, 6 – контроль і регулювання температури води і температури в камері;
- 7 – контроль тиску води;
- 8, 9 – контроль тиску фреону;
- 10 – контроль перепаду тиску на фільтрі.

У контурах 1 – 4 керування приводами передбачені функції місцевого керування, які реалізуються за рахунок технічних засобів, що розміщені у

силовій шафі, функції дистанційного керування з панелі оператора та функції автоматичного керування у часі по програмі в ПЛК.

У контурі 5 реалізована система контролю та регулювання температури води на виході конденсатора. Розглянемо дію цього контуру. Від датчика температури з уніфікованим перетворювачем TY/5 пропорційний температурі води сигнал струму 4...20 мА DC подається на регулятор TIRC/5, який сприймає також сигнал заданого значення HIC/5 і формує керуючий вплив у вигляді 4...20 мА DC, що подається виконавчий механізм TVC/5. Регулятор реалізовано програмно в ПЛК. В контурі передбачена функції ручного задатчика і індикації регульованої змінної HIC/5, які реалізовані в панелі оператора.

У контурі 6 реалізована система контролю та регулювання температури повітря в камері, яка працює аналогічно.

В контурі 7 сигнал від датчика-реле тиску води PS/7 з уніфікованим виходом у вигляді напруги 0-24 V DC, подається на ПЛК і дозволяє сформувати функції індикації та сигналізації PIS7 на панелі оператора.

Аналогічно сигнали від датчиків-реле тиску PS/8, PS/9 з уніфікованим виходом у вигляді напруги 0-24 V DC, подаються на ПЛК, що дозволяє сформувати функції індикації та сигналізації PIS/8, PIS/9 на панелі оператора.

В контурі 10 сигнал від датчика-реле диференційного тиску фреону PDS/10 з уніфікованим виходом у вигляді напруги 0-24 V DC, подається на ПЛК і дозволяє сформувати функції індикації та сигналізації PDIS/10 на панелі оператора.

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

8.3. Розробка принципової електричної схеми керуванням електроприводом

Всі компоненти схеми розміщуються в силовій шафі SS. Дана ПЕС забезпечує місцеве і дистанційне керування. Живлення електропривода M1 здійснюється від мережі типу TN через автомат захисту електродвигуна Q1, клеми контактора Q3, кабель W15 та вимикач OB-Q1.

Місьцеве керування електроживленням котушки контактора Q3 здійснюється від фази L1 завдяки використанню автоматичного вимикача Q2, кнопки Стоп S1 та кнопки Пуск S3. Перемикач в дистанційний режим здійснює перемикач S2. Керуючий сигнал від модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) контролера формує проміжне реле K5, яке своїм контактом здійснює електроживлення котушки Q3.

Стани Q3, S2, K4 у вигляді сигналів 24 V DC подаються до дискретних входів модуля DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0).

8.4 Розробка принципової електричної схеми живлення

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

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

8.5 Розробка принципової схеми мережевих підключень

На даній схемі вказані кола живлення CPU ПЛК 24 V DC від схеми живлення через вимикач з запобіжником F1 та панелі оператора через вимикач з запобіжником F3. Пунктирними лініями показані мережеві зв'язки між ПЛК, панеллю і комп'ютером програмування.

8.6. Розробка принципових електричних схем підключення до модулів ПЛК

До дискретних входів модуля DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) по кабелях W 4, 5, 12, що підключаються до клем SA-X1, подаються сигнали 0 або 24 V DC, які характеризують поточний стан апаратури керування електроприводами M1, M2, M3, що встановлена у силовій шафі і забезпечує локальне (місцеве) керування. По кабелям W1, W8, W16, W17, що підключається до клем SA-X1, передаються сигнали від датчиків-реле тиску PS/7, PS/8, PS/9, PDS/10.

На дискретних виходах модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) формуються сигнали 0 або 24 V DC, які по кабелям W4, 5, 12 що підключаються до клем SA-X1, передаються у силову шафу в схему керування електроприводами M1, M2, M3. Також до виходу модуля дискретних виходів по кабелю W3, що підключається до клем SA-X1, підключається проміжне реле K3, для керування клапаном FV/4.

Модуль аналогових входів AI 4xU/I (6AG 1531-7KF00-7AB0) розміщується на на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. До його аналогових входів за допомогою екранованих кабелів W10, 11, що під'єднуються до клем SA-X1, підключаються датчики температури води і повітря з уніфікованим виходом 4...20 mA DC TY5, TY6.

Модуль аналогових виходів AO 4xU/I/6ES7 (6AG 1532-5HD00-7AB0) розміщується на на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. Аналоговий вихід

цього модуля формує сигнали 4...20 мА DC, які за допомогою кабелів W15, що підключається до клем SA-X1, передає сигнали керування на виконавчі механізми кульових клапанів TCV5, TCV6.

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

8.6 Охорона праці при монтажі, налагодженні та експлуатації АСКТП

Загальні положення

Безпека праці при створенні та експлуатації систем автоматизації технологічних процесів повинна відповідати вимогам:

- Закону України «Про охорону праці»;
- НПАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»;
- НПАОП 0.00-1.32-01 «Правила техніки безпеки під час експлуатації електроустановок»;
- ДБН В.2.5-23:2010 «Електрообладнання будівель і споруд»;
- ДСТУ EN 60204-1:2018 «Безпечність машин. Електрообладнання машин»;
- ПУЕ (Правила улаштування електроустановок).

Робота з промисловою автоматизацією поєднує в собі два різні середовища: "поле" (де безпосередньо монтують залізо) та "диспетчерську" (де керують процесами через монітори). Нижче наведено детальний розбір шкідливих факторів та правил безпеки для обох професій.

Робота монтажника систем автоматизації на промислових холодильних установках (де найчастіше використовуються такі холодоагенти, як аміак, фреони або вуглекислота) пов'язана з підвищеною небезпекою. Вона поєднує

в собі ризику загальнобудівельних монтажних робіт, небезпеку ураження струмом та специфічні ризику холодильної індустрії.

1. Шкідливі та небезпечні виробничі фактори

Усі фактори, що діють на монтажника, можна розділити на кілька основних груп відповідно до ГОСТ/ДСТУ:

Хімічні фактори (найбільш специфічні)

Токсичність холодоагентів: Витік аміаку загрожує важкими хімічними опіками дихальних шляхів, очей та шкіри, а у високих концентраціях — удушенням та смертю.

Асфіксія (задуха): Фреони та вуглекислий газ важчі за повітря. При витоку в замкнутих просторах (компресорні, підвали, камери) вони витісняють кисень, що призводить до втрати свідомості.

Продукти горіння: При паянні або зварюванні мідних/сталевих труб утворюються шкідливі аерозолі, а при термічному розкладанні деяких фреонів (під дією відкритого полум'я) можуть виділятися високотоксичні гази (наприклад, фосген).

Фізичні фактори

Екстремальні температури: Низькі температури:* Робота всередині діючих морозильних камер (до -30 С), ризик обмороження при контакті з рідким холодоагентом.

Високі температури: Гарячі елементи нагнітальних трубопроводів компресорів, робота з паяльними лампами чи зварюванням.

Небезпека ураження електричним струмом: Монтаж та налагодження щитів автоматики (ПЛК, частотних перетворювачів), прокладання кабельних ліній під напругою або поблизу діючого електрообладнання (380 В і вище).

Високий тиск: Ризик механічного руйнування елементів системи (трубопроводів, датчиків тиску, соленоїдних клапанів) під час пусконалагодження, що може призвести до викиду струменя газу чи осколків.

Шум та вібрація: Постійний високий рівень шуму в компресорних цехах від роботи поршневих чи гвинтових компресорів, насосів та вентиляторів конденсаторів.

Робота на висоті: Монтаж трас, датчиків (наприклад, на випарниках або повітряохолоджувачах під стелею камер) та зовнішніх конденсаторів.

Недостатнє освітлення: Робота всередині закритих холодильних камер або технологічних ніш.

Психофізіологічні фактори

Фізичні перевантаження (перенесення інструментів, кабельних лотків, важких приводів засувки).

Нервово-психічне напруження при роботі в діючих цехах з вибухо- та пожежонебезпечними речовинами.

2. Правила техніки безпеки для монтажника

Перед початком будь-яких робіт монтажник повинен пройти ввідний, первинний на робочому місці та (за потреби) цільовий інструктажі з охорони праці.

Вимоги до засобів індивідуального захисту (ЗІЗ)

Монтажник зобов'язаний використовувати:

Спецодяг та спецвзуття (для компресорних — антистатичне, для камер — утеплене).

Захисну каску та діелектричні рукавички (при роботі в електрощитах).

Захисні окуляри або щитки для захисту очей від механічних частинок та бризок мастила/холодоагенту.

При роботі на аміачних установках обов'язково: мати при собі або в безпосередній близькості промисловий протигаз (фільтрувальний з коробкою марки «КД» або «М», або ізолювальний).

Безпека перед початком робіт

1.Оцінка середовища: Перевірити справність припливно-витяжної вентиляції та стаціонарних датчиків витоку газу (газоаналізаторів) у приміщенні.

2. Перевірка інструменту: Перевірити ізоляцію ручного інструменту, цілісність кабелів живлення електроінструменту (перфораторів, шуруповертів), терміни повірки вимірювальних приладів (мультиметрів).

3. Оформлення допусків: Роботи в діючих фреонових чи аміачних компресорних, а також роботи на висоті відносяться до робіт з підвищеною небезпекою і вимагають оформлення наряду-допуску.

Безпека під час виконання монтажних робіт

Монтаж електричної частини та автоматики:

Всі роботи з підключення датчиків (температури, тиску, рівня), виконавчих механізмів (ТРВ, соленоїдів) та ПЛК повинні виконуватися при повністю знеструмленому обладнанні.

На комутаційних апаратах (автоматах, рубильниках) обов'язково вивішується плакат: «Не вмикати! Працюють люди».

Заземлення (занулення) корпусів щитів автоматики, кабельних лотків та металевих деталей обладнання є обов'язковим.

Монтаж первинних приладів на трубопроводах (врізка датчиків):

Категорично заборонено проводити зварювальні чи паяльні роботи на ділянках трубопроводів, які перебувають під тиском холодоагенту. Спершу виконується відкачування/евакуація газу, скидання тиску до атмосферного та продувка азотом.

При заміні чи монтажі датчиків тиску (пресостатів) на діючій установці необхідно перекрити відповідні вентиля та обережно стравити залишковий газ через сервісний порт.

Робота в холодильних камерах:

При монтажі автоматики всередині низькотемпературних камер необхідно переконатися, що двері камери обладнані системою внутрішнього відкривання (ручка «антипаніка») та працює світлова сигналізація «Людина в камері».

Працювати в замкнутих камерах рекомендується бригадою щонайменше з двох осіб (один виконавець, один — страхуючий ззовні).

Безпека в аварійних ситуаціях

1. При спрацьовуванні сигналізації витоку газу (аміаку чи фреону): Негайно припинити роботу, одягнути ЗІЗ органів дихання, покинути небезпечну зону навітряною стороною (проти вітру), повідомити оператора установки (диспетчера).

2. При ураженні струмом: Негайно знеструмити дільницю (вимкнути автомат/рубильник), звільнити потерпілого від дії струму (використовуючи діелектричні засоби чи сухий дерев'яний предмет), викликати швидку і надати першу допомогу.

3. При попаданні рідкого холодоагенту на шкіру (обмороження): Промити уражену ділянку великою кількістю чистої води (НЕ гарячої), накласти стерильну пов'язку, звернутися до лікаря. Чинити механічне тертя ураженого місця заборонено.

3. Шкідливі фактори для оператора SCADA-системи

На відміну від монтажника, оператор сидить у кабінеті, але його праця пов'язана з великим психофізіологічним навантаженням:

Зорове перенапруження (астенопія): Безперервне спостереження за дрібними елементами мнемосхем, графіками та миготливими індикаторами на моніторі протягом 8–12 годин.

Гіподинамія та статичне навантаження: Тривале перебування в положенні сидячи призводить до застою крові, проблем із хребтом (остеохондроз) та кистьового тунельного синдрому (від мишки та клавіатури).

Нервово-емоційне напруження (стрес): Висока відповідальність за перебіг техпроцесу. Необхідність миттєво реагувати на аварійні сигнали та приймати рішення, від яких залежать життя людей та цілісність заводу.

Електромагнітні поля: Випромінювання від великої кількості моніторів, серверів та системних блоків.

Монотонність праці: Тривалий час процес може йти ідеально, що притупляє увагу оператора, викликає сонливість, але вимагає постійної готовності до дії.

4. Вимоги до приміщення диспетчерського пункту (операторської)

Щоб мінімізувати шкідливі фактори, операторська кімната повинна відповідати жорстким санітарним нормам:

Таблиця 8.1 – Санітарні норми приміщень

Параметр	Вимога / Норма
Площа та об'єм	Не менше 6 кв. м площі та 20 куб м об'єму на одне робоче місце оператора.
Освітлення	Комбіноване (природне + штучне). На столі має бути 300–500 лк. Світло не повинно створювати бліків на екранах моніторів.
Мікроклімат	Наявність кондиціонування та вентиляції. Температура: 22–24°C влітку, 20–22°C взимку. Відносна вологість: 40–60%.
Шум	Рівень звукового тиску в диспетчерській не повинен перевищувати 50–55 дБА (стіни та стеля мають бути зі звукопоглинаючих матеріалів).
Ергономіка	Спеціальні меблі: стілець із регулюванням висоти, кута нахилу спинки та підлокітників. Монітори розташовуються на відстані 60–70 см від очей.

Правила техніки безпеки для оператора SCADA-системи

Хоча ризик отримати травму в кріслі менший, правила безпеки тут не менш важливі:

Режим праці та відпочинку: Найважливіше правило. Оператор повинен робити регламентовані перерви (по 10–15 хвилин кожні 2 години або 5–10 хвилин щогодини) для розминки очей та суглобів.

Електробезпека в офісі: Заборонено самостійно ремонтувати розетки, монітори чи лізти всередину системного блоку під напругою. При виявленні запаху гарі чи іскріння — негайно знеструмити обладнання головним рубильником та викликати електрика.

Організація робочого місця: Не захаращувати вентиляційні отвори моніторів та системних блоків паперами. Не ставити склянки з водою, чаєм чи кавою поруч із клавіатурою та апаратурою керування.

Гігієна праці: Виконувати прості вправи для очей (погляд вдалину-зблизька) та легку гімнастику під час перерв для запобігання застійним явищам у тілі.

Дії при аварії: Оператор повинен чітко знати план евакуації, місця розташування вуглекислотних вогнегасників (безпечних для електроніки) та вміти користуватися кнопкою аварійної зупинки всього технологічного комплексу (ESD - Emergency Shutdown).

8.7 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 охолодження риби. 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.

Висновок

В ході виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було розглянуто технологію охолодження риби. Підвищення ефективності саме цього процесу здатне дати суттєвий економічний ефект. Тому процес охолодження риби в холодильній камері було обрано в якості об'єкту для модернізації системи керування. Провівши аналіз ходу технологічного процесу, можна зробити висновок, що саме на цій ділянці технологічної схеми можна істотно змінити техніко-економічні показники виробництва в цілому, такі як зменшення енерговитрат та втрат від браку готової продукції.

Виходячи з вище викладеного, при впровадженні для процесу охолодження риби в холодильній камері модернізованої системи керування на базі мікропроцесорної техніки, яка буде ефективно контролювати і керувати процесом, потрібно домогтися: зниження витрат електроенергії та втрат від браку готової продукції. Для цього слід буде поліпшити якість регулювання температури відпрацьованої після конденсатора води та температури в камері, удосконалити існуючі алгоритми логічного керування, замінити існуючу елементно-технічну базу на більш нові засоби керування.

Була проведена ідентифікація моделі процесу охолодження риби в холодильній камері, як об'єкта керування. Були ідентифіковані канали управління, в результаті чого було з'ясовано, що всі вищезгадані канали мають властивість самовирівнювання, тобто статичні властивості. Це пов'язано з тим, що в холодильній камері протікають процеси, які за своєю природою мають такі властивості. При складанні структурних схем моделювання та їх реалізації були отримані результати, які мають достатній ступінь відповідності реальним передаточних функцій, що свідчить про правильність проведення параметричної ідентифікації моделей каналів ОК.

Задача побудови системи автоматичного регулювання вирішувалася у два етапи. Спочатку було проведено синтез та аналіз САР базової структури, а

потім проведено підвищення динамічної точності цієї САР шляхом побудови системи автономної структури.

САР з ПІ- та ПІД-регулятором в перехідних режимах задовольняє гранично припустимим вимогам,.

І САР з ПІ-регулятором, і САР з ПІД-регулятором є грубими.

За усіма показниками якості САР з ПІД-регуляторами є кращою, ніж САР з ПІ-регуляторами. Тому в подальших дослідженнях в якості базового алгоритму регулювання будемо застосовувати ПІД-закон регулювання.

САР підвищеної динамічної точності забезпечує взаємну автономність каналів регулювання температур.

Автономна САР є грубою, тому що в умовах 20%-ї варіації параметрів ОК ці САР дають перехідні процеси, що сходяться.

У порівнянні з САР базової структури з ПІД-регуляторами автономна САР дає покращення за прямими показниками якості перехідних процесів. За інтегральним критерієм оптимальності автономна САР дає покращення на 45%. Тому у подальшому доцільно використовувати саме автономну САР.

В ході розробки алгоритмів логічного керування для охолодження риби в холодильній камері було складено регламенти функціонування та алгоритми автоматичного керування пуском та технологічною зупинкою процесу.

Було проведено вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити керування процесом охолодження риби в холодильній камері. 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 Siemens SIMATIC S7-1500 та панелі оператора TP1900 Comfort, об'єднаних по мережі Profinet, що забезпечує можливість подальшого розвитку системи.

Були визначені процесорний блок та блоки вводу виводу фірми Siemens сімейства S7-1500, проведено їх конфігурування.

Розроблені програми логічного керування технічними засобами та регулювання температури відпрацьованої води та температури в камері із використанням бібліотечних функціональних блоків.

Проведено тестування цих програм, яке засвідчило їх відповідність алгоритмам.

Розроблено інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом охолодження риби в холодильній камері. 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 працездатність у всіх режимах роботи.

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 охолодження риби в холодильній камері. В результаті виконання отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням ПЛК та сучасних пристроїв автоматизації.

Опрацьовано основні питання, пов'язані з охороною праці при експлуатації системи автоматичного керування процесом.

Перелік джерел

1. Холодильні технології риби та рибопродуктів : навч. посіб. / І. П. Лебідь, О. В. Савченко, В. А. Попов та ін. Львів : Новий Світ-2000, 2020. 256 с.
2. Технологія рибних продуктів : навч. посібник / за ред. О. В. Семенюк, Л. В. Порохняк. — Одеса : Астропринт, 2017. — 408 с.
3. Автоматизація технологічних процесів у м'ясо- та рибопереробній промисловості : навч. посіб. / В. М. Плівако, Б. І. Чеховський, О. С. Повхан, Р. М. Мирончук. К. : Центр учбової літератури, 2019. 320 с.
4. Хмельнюк М. Г., Олініченко В. О., Желіба Ю. В. Сучасні холодильні установки та системи кондиціювання повітря : підручник. Одеса : ОНАХТ, 2018. 412 с.
5. Конспект лекцій з курсу "Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів" [Електронний ресурс] : для студентів, які навчаються за спец. 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навчання / В. А. Хобін ; відп. за вип. В. А. Хобін; Каф. автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем. — Одеса : ОНАХТ, 2016. — Електрон. текст. дан.: 96 с.
6. Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» для студентів, які навчаються за спеціальністю 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання. Укл. В.А. Хобін. – Одеса: ОНАХТ, 2020. – Ч. 1. – 110 с.
7. Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» для студентів напряму підготовки 6.050202 денної та заочної форм навчання. В.А. Хобін. – Одеса: ОНАХТ, 2014. – Ч. 2. – 72 с.
8. Муратов В. Г. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: Навчальний посібник для студентів спеціальності 7.092500 «Автоматизоване управління технологічними процесами». – К.: Освіта України, 2016. – 286 с.
9. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані

технології та робототехніка» денної та заочної форм навчання / За ред. В.А. Хобіна - Одеса: ОНТУ, 2024 р. – 47 с.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

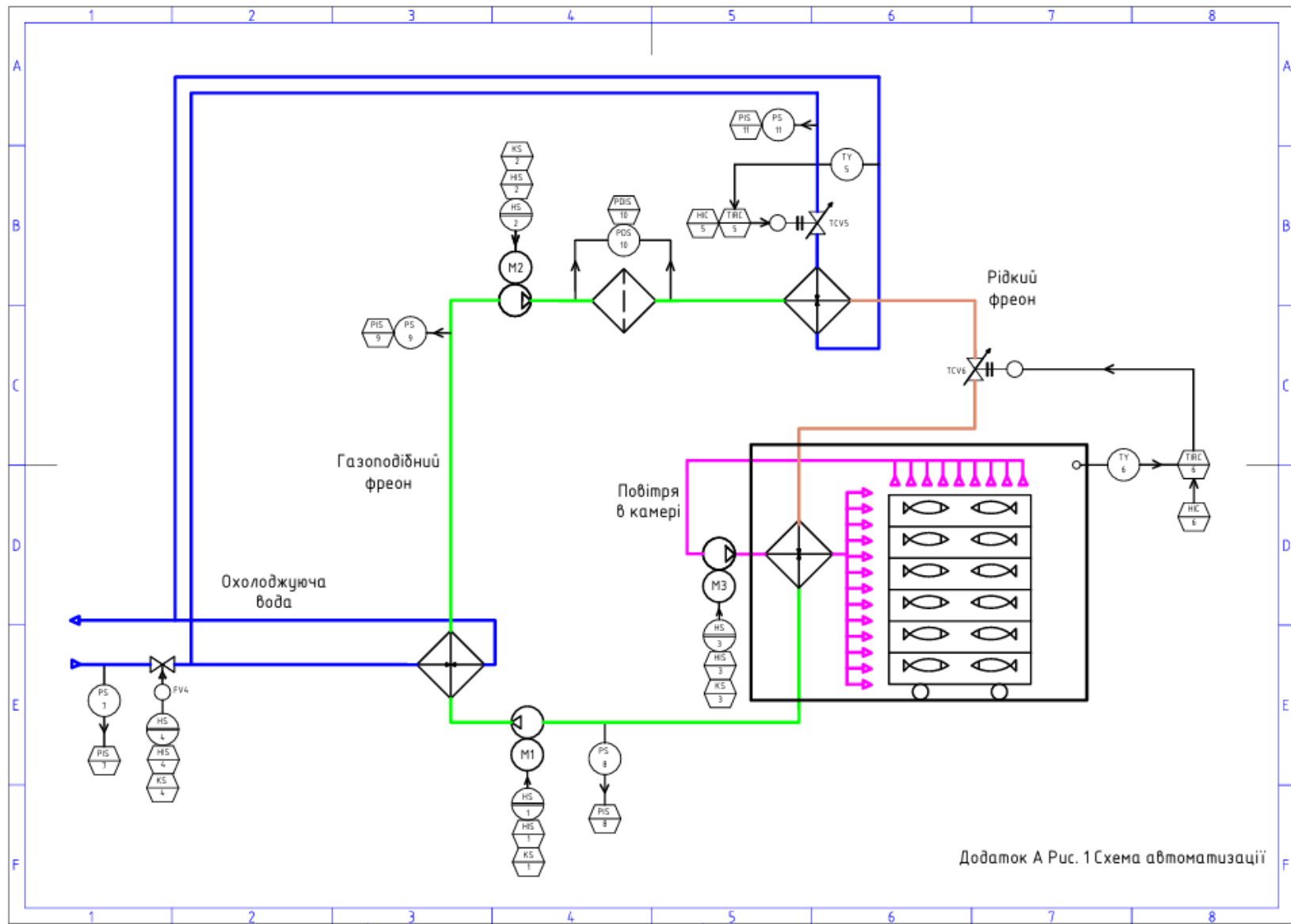
20. ДСТУ 3008:2015 Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. Київ, ДП УкрНДНЦ, 2016. 31 с.

Додатки

Додаток А. Документація до схеми автоматизації

Таблиця А – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
TY/5 TY/6	Датчик температури ТЕРА (ТСП гр.Pt100) в корпусі 1-3 з вбудованим нормуючим перетворювачем	2	
PS/7,8,9	Датчик-реле тиску HLP506M	3	
PDS/10	Диференціальне реле Alco controls FD 113	1	
FCV5,6	Виконавчий механізм Rotork RCEL005	2	
FV4	Електромагнітний клапан CEME 8617	1	
	<u>Прилади у шафі оператора</u>		
TIRC/5 KS/1... KS/4	Центральний процесор CPU 1513 1 PN	1	
HIS/1... HIS/4	Панель оператора TP1900 Comfort 6VA2 124 OUC02-0AX1	1	
HS/1... HS/4	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	6	
	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	6	

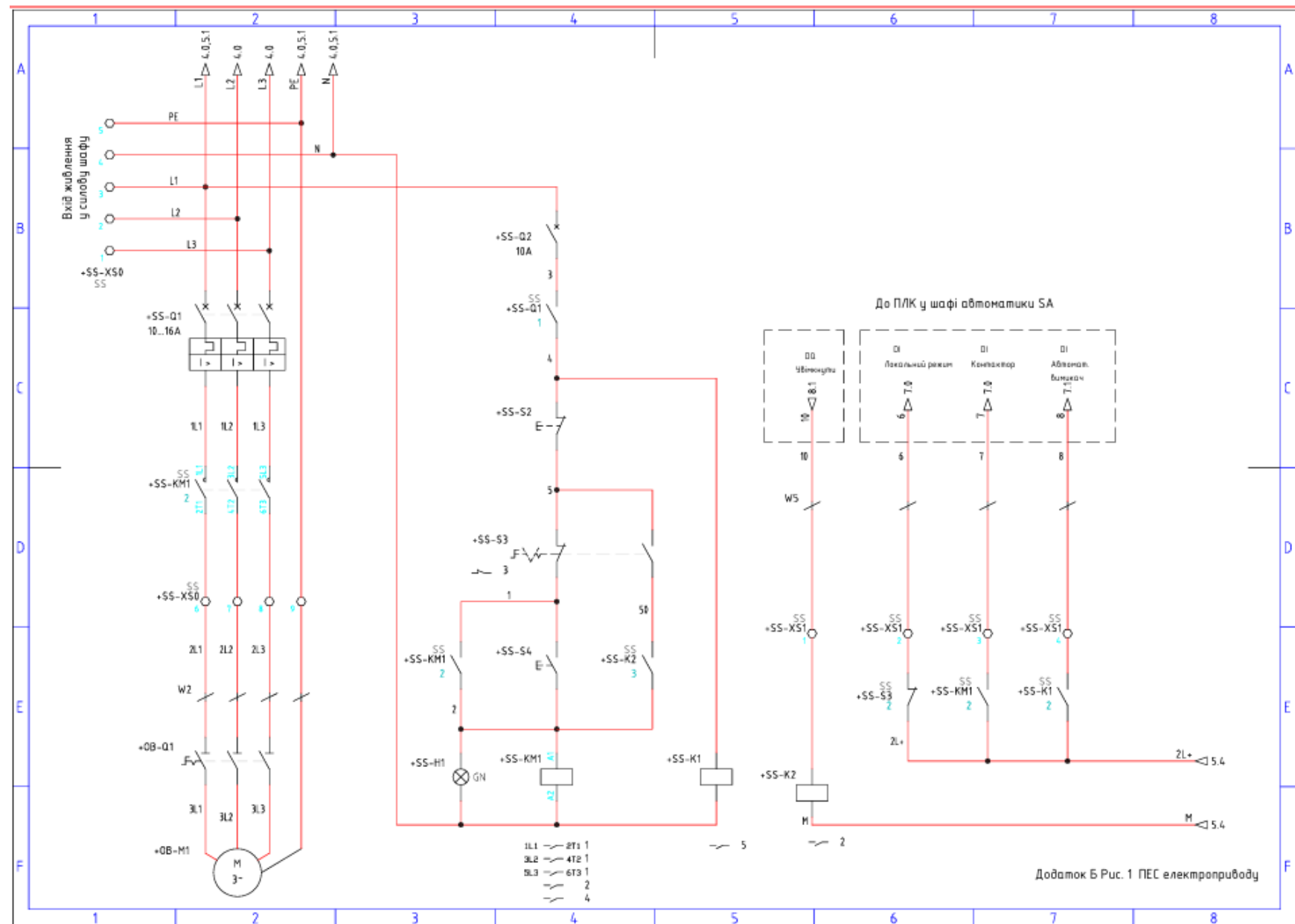


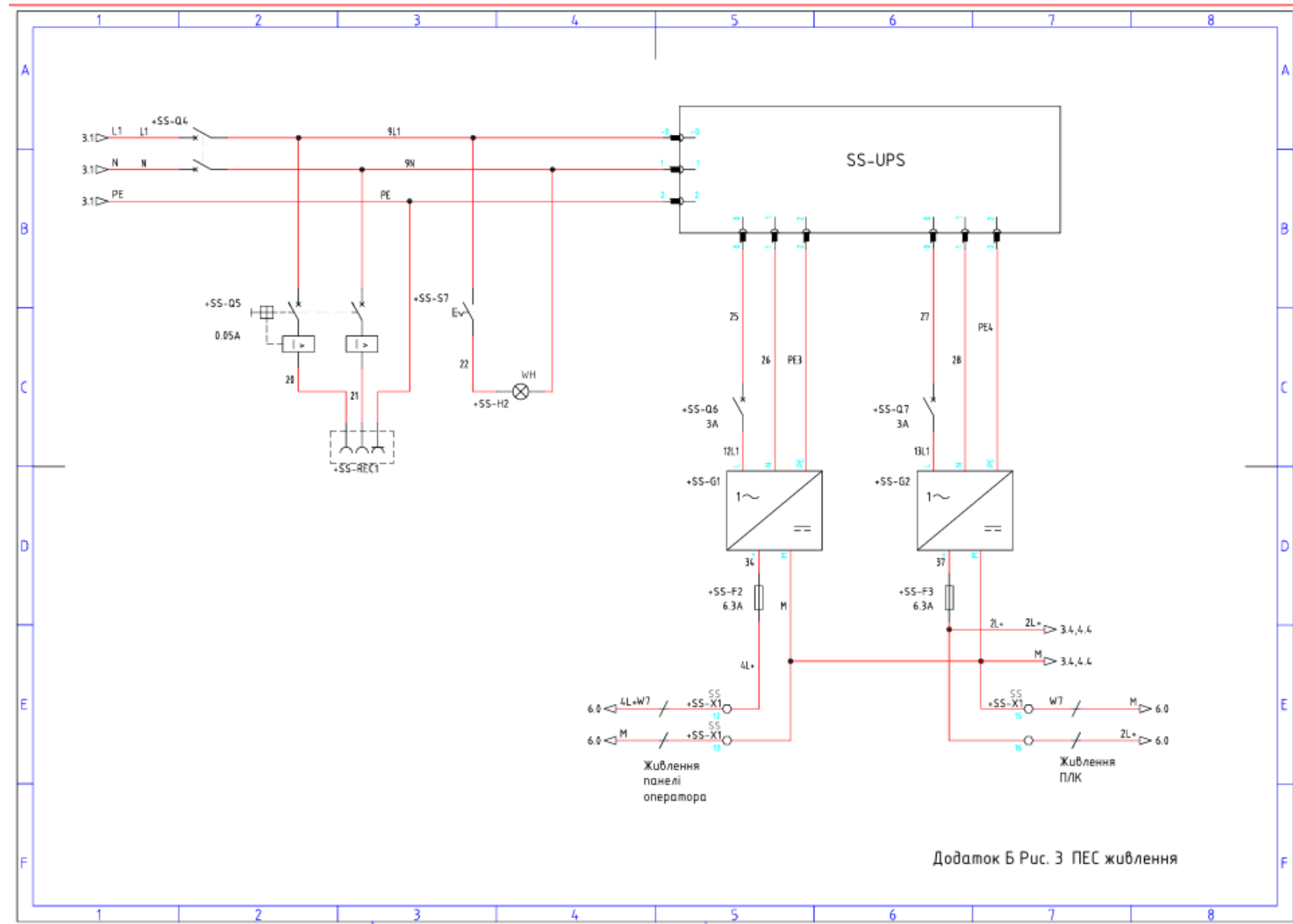
Додаток Б Документація до принципів електричних схем

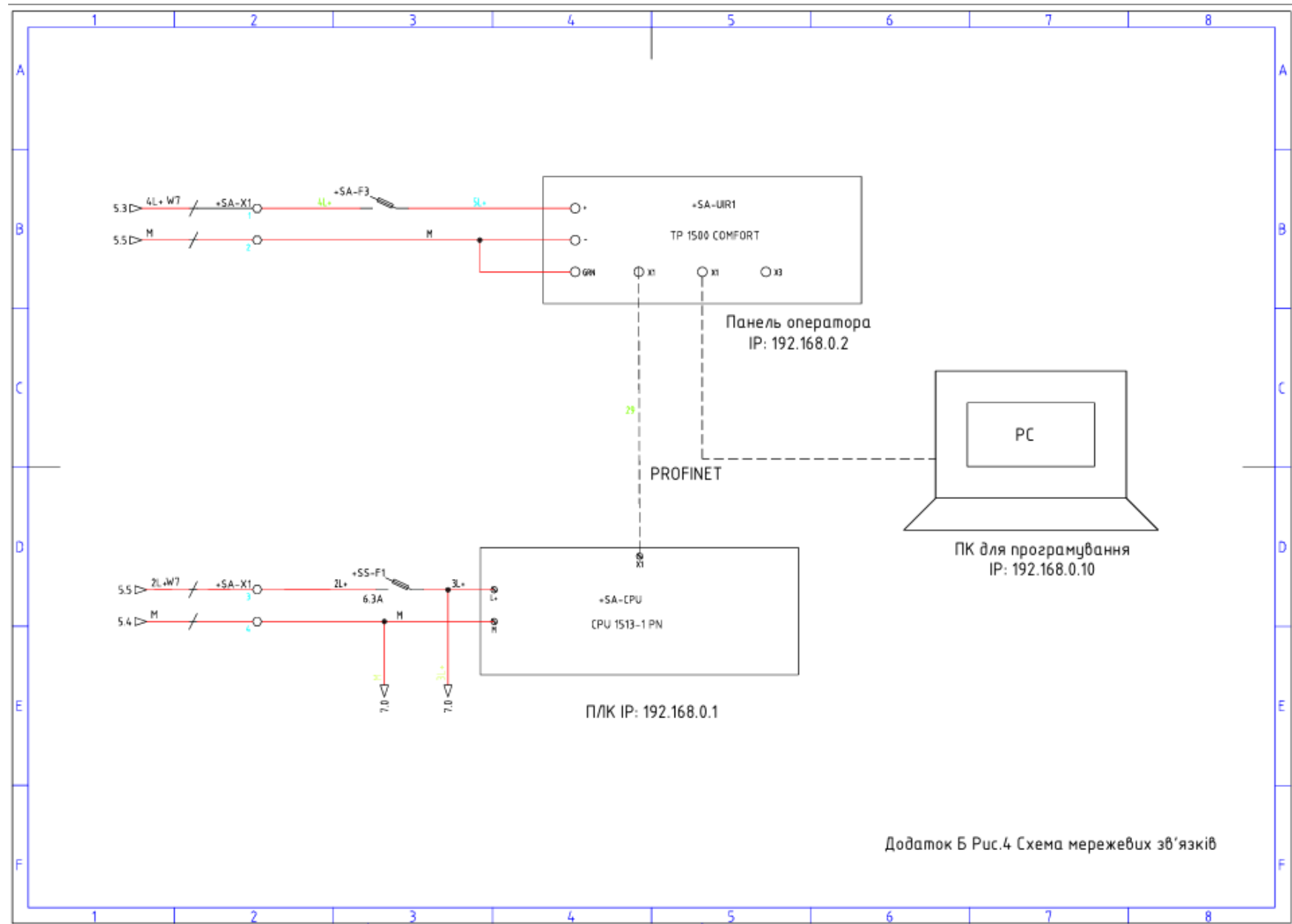
Таблиця Б1 – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми

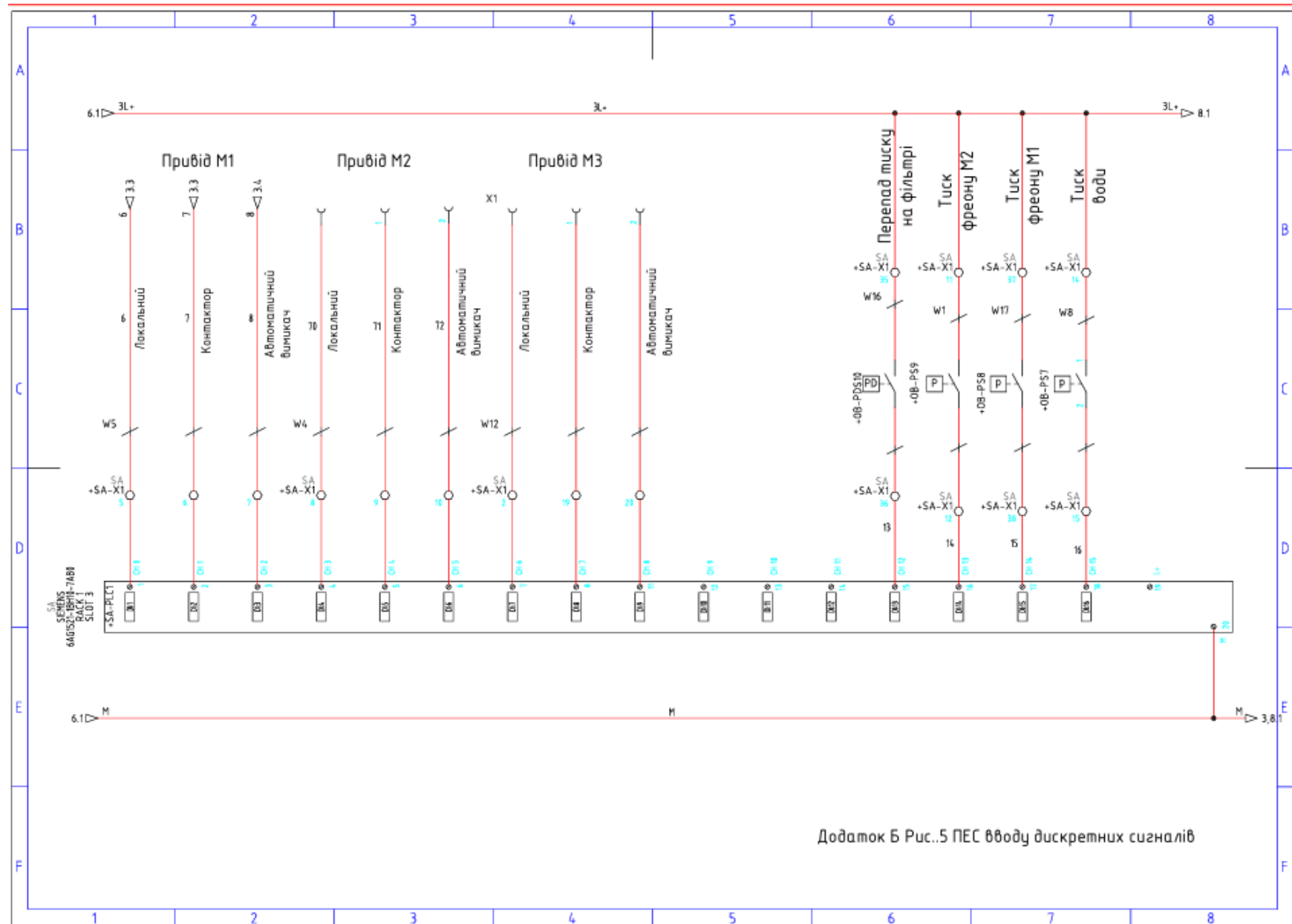
Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
	Електропривід		
Q1	Автомат захисту двигуна Schneider Electric GV3P65	1	
KM1	Контактор Schneider Electric LC1E65M5	1	
K2	Проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24V DC, 6A, LED (RXM4AB2BDPVS)	1	
S4	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	1	
S3	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	1	
S2	Кнопка 22 мм, кругла, пластикова, 1 червона, без фіксації, 1H3 Siemens: 3SU1100-0AB20-1CA0	1	
H1	Індикатор світловий, метал, 24V AC / DC, Білий Siemens: 3SU1132-0AD60-3AA0	1	
	Схема живлення		
Q4	Автоматичний вимикач Siemens: 5SL6210-6	1	
USB	Smart-UPS LogicPower-1000 PRO	1	
G1, G2	PS 60W 24/48/60VDC (6ES7505-0RA00-0AB0)	2	

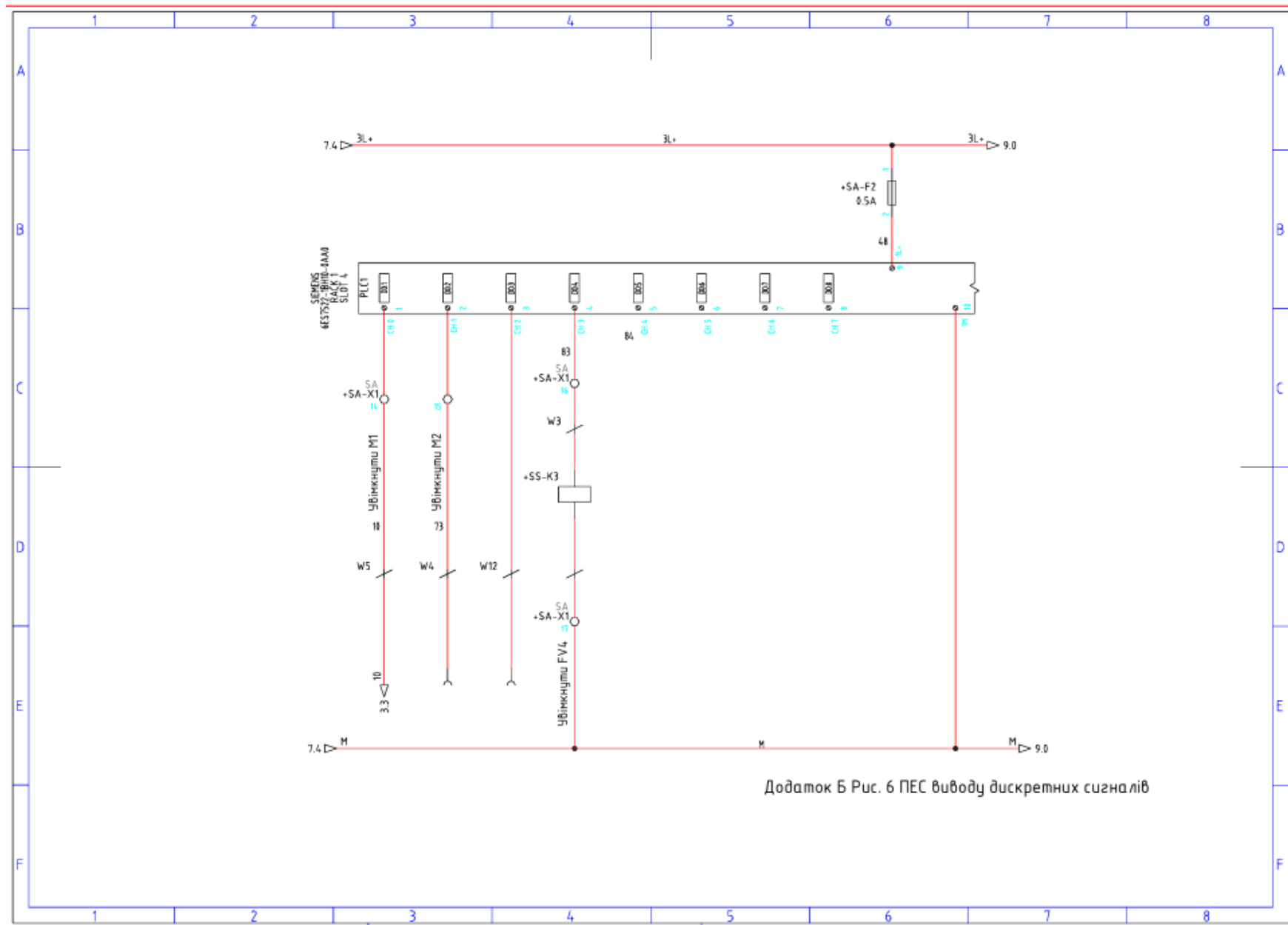
Q5	mitsubishi CP-S-2P-0.05A	1	
F2, F3	TELEMECANIQUE ABE7FU630	2	
	<u>DI</u>		
PLC1	DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0)	1	
F1	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
PS/7,8,9	Датчик-реле тиску HLP506M	3	
PDS/10	Диференціальне реле Alco controls FD 113	1	
	<u>DO</u>		
PLC2	модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0)	1	
K3	Реле проміжне Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24B DC, 6A, LED (RXM4AB2BDPVS)	1	
F2	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
	<u>AI</u>		
PLC3	Модуль AI 4xU/I (6ES7 531-7QD00-0AB0)	1	
TY/5 TY/6	Датчик температури ТЕРА (ТСП гр.Pt100) в корпусі 1-3 з вбудованим нормуючим перетворювачем	2	
	<u>AO</u>		
PLC4	Модуль АО 4xU/I/6ES7 (532-HDB00-0AB0)	1	
F5	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
FCV5,6	Виконавчий механізм Rotork RCEL005	2	

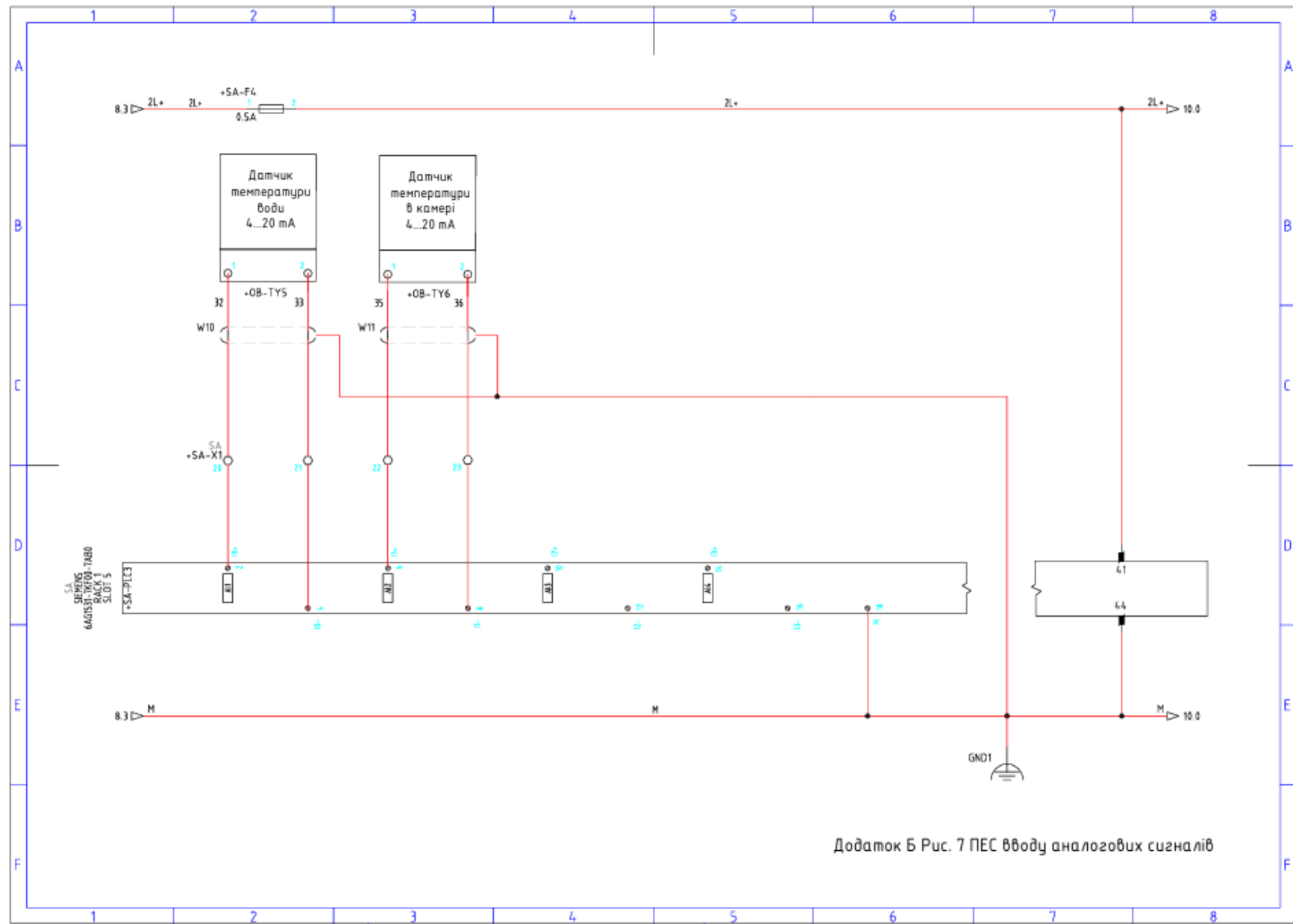












Додаток Б Рис. 7 ПЕС вводу аналогових сигналів

