

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



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему: «Автоматизація процесу керування охолодженням технологічної води»

(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача (ки) Кононова Б.С.
(прізвище, ініціали)

_____ курсу _____ групи

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

Консультанти:

доц. каф. АТПіРС Левінський В.М.
(посада, прізвище та ініціали)

доц. каф. АТПіРС Світий І.М.
(посада, прізвище та ініціали)

проф. кафедри МіЛ Савенко І.І.
(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

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

Завідувач(ка) кафедри АТПіРС _____
(назва кафедри) (підпис) Підпис

І.М. Світий
(ПІБ)

Одеса – 2024 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

«23» листопада 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувач Кононов Богдан Сергійович

1. Тема роботи «Автоматизація процесу керування охолодженням технологічної води»
2. Керівник кваліфікаційної роботи Левінський Валерій Михайлович, к.т.н. доцент
Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 603-03 від 19.10.23 р.
3. Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи «11» червня 2024 р.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт.
5. Зміст кваліфікаційної роботи (розділи, які потрібно розробити):
Розділ 1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК
Розділ 2. Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.
Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САК.
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом.
Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.
Розділ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.
Розділ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.
Розділ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.
Розділ 9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Номер розділу	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділи 2, 3	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 4	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 5	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 6	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 7	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 9	Савенко І.І., проф. кафедри МіЛ		

7. Дата видачі завдання 04 грудня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач Кононов Б.С.

Керівник роботи Левінський В.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 Кононов Б.С.

Прізвище, ініціали

Підпис

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра Кононова Богдана Сергійовича «Автоматизація процесу керування охолодженням технологічної води» викладена на 164 сторінках, кількість таблиць 26, рисунків – 151, додатків - 8, джерел з переліку посилань - 15.

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

Об'єкт розробки – система автоматичного керування процесом охолодження технологічної води .

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

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

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

ЗМІСТ

	Стор.
Перелік умовних позначень.....	11
Вступ.....	12
Розділ 1 Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.....	13
1.1. Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів.....	13
1.1.1 – Історична довідка про підприємство та характеристика виробничої діяльності.....	13
1.1.2 – узагальнена схему ТП та її опис.....	14
1.1.3 – розгорнута схема ТП для вибраної ділянки автоматизації	16
1.1.4 - опис конструкції ТА, яка може бути об'єднана або розподілена на декілька частин, а також особливості його експлуатації.....	17
1.1.5 - сформульовані (у загальному виді) умови, при яких можливо і економічно доцільно реалізувати розглянутий ТП.....	19
1.1.6 Параметризація схеми технологічного процесу і загальна характеристика параметрів і їх взаємозалежностей.....	20
1.1.7 Конкретизація регламентів і умов ведення процесу, його формалізоване представлення, первинний аналіз ТП та ТА	21
1.1.8. Аналіз наслідків виходу технологічних і експлуатаційних параметрів за регламентні допуски.....	22
1.1.9 Виявлення параметрів, що характеризують умови ведення технологічного	

процесу та експлуатації технологічного агрегату.....	23
1.1.10 Формалізація параметризованої схеми технологічного процесу і отримання його параметричної схеми.....	24
1.2 Аналіз існуючого рівня автоматизації ділянки ТП.....	24
1.2.1 засоби отримання інформації про хід ТП і стан ТА.....	24
1.2.2 засоби безпосереднього впливу на процес.....	25
1.2.3 засоби обробки інформації і формування керуючих дій.....	25
1.2.4 засоби представлення інформації технологічному персоналу і оператору процесу.....	25
1.2.5 умови при яких можливий технологічний пуск, зупинка , аварійна зупинка та умови при яких необхідно блокувати предаварійну ситуацію.....	25
1.3 Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК...	25
Розділ 2 Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.....	27
2.1. Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання.	27
2.2 Ідентифікація (розробка моделей) каналів перетворення об'єкта регулювання.....	28
2.3 Ідентифікація математичних моделей збурень об'єкта регулювання.....	37
2.4 Реалізація моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їч відповідності експериментальним даним.....	40
2.5 Висновки до розділу.....	53
3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР.....	54

3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом.....	54
3.1.1 Формування задач керування технологічним агрегатом	54
3.2. Параметричний синтез і аналіз САР базової структури.....	57
3.2.1 Розрахунок початкових наближень налаштувань регуляторів.....	57
3.2.2 Проводимо розробку та налаштування схеми моделювання САР з ПІ- та ПІД-регуляторами.....	57
3.2.3 - з використанням розроблених раніше моделей параметричних збурень проводимо машинні експерименти з перевірки САР на грубість.....	64
3.3. Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз.....	74
3.3.1 - аналіз особливості об'єкта регулювання, які знижують динамічну точність САР.....	74
3.3.2 - розробляють, реалізують і налагоджують імітаційні моделі коригуючих зв'язків і САР в цілому.....	76
3.3.3 Інтегруємо спрощену передаточну функцію коригуючого зв'язку до структурної схеми САР підвищеної динамічної точності. Проведемо оптимальний параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності.....	80
3.3.4 - з використанням моделей параметричних збурень проводимо машинні експерименти з перевірки САР на грубість.....	81
3.5 висновок за розділом	85
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом.....	86

4.1. Аналіз існуючого рівня реалізації функцій логічного (логікопрограмного) керування технологічним агрегатом та модернізація комплексу технічних засобів для автоматизації цих функцій.....	86
4.2. Формалізація регламентів функціонування технологічного агрегату: за пуском, технологічною та аварійною зупинками технологічного процесу у вигляді блок-схем та їх опис.....	87
4.3. Розробка алгоритмів автоматичного керування: пуском, технологічною та аварійною зупинкою (циклом роботи) технологічного агрегату у вигляді блок-схем та їх опис.....	89
4.4. Розробка функціональної логічної схеми процесу керування технологічним агрегатом, з використанням типових символічних позначень.....	94
4.5. Імітаційне моделювання системи логічного керування.....	95
4.6 Висновки за розділом.....	97
Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.....	98
5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації й обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів і місць їх розміщення	98
5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	99
5.2.1 перелік параметрів які підлягають вимірюванню.....	99
5.2.2 - обґрунтовують розподіл представлення інформації користувачу в рамках АРМ, «за місцем», і (чи) іншими спеціальними пунктами.....	101

5.2.3 Вибір типів датчиків і розподільних пристроїв.....	104
5.3. Вибір технічних засобів реалізації керуючих дій на технологічний процес і керування обладнанням.....	108
5.4. Вибір альтернативних варіантів технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі.....	113
5.4.1 Вибір побудови структури комп'ютерної мережі.....	113
5.4.2 Вибір контроллера та модулів вводу вивода.....	113
5.4.3 схема технологічної структури та опис контроллера.....	118
Розділ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.....	122
6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж.....	122
6.2. Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування.....	124
6.3. Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання.....	126
6.4 Висновки за розділом.....	128
Розділ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.....	129
7.1. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога...	129
7.2. Розробка екранів АРМ оператора-технолога.....	129
7.3. Конкретизація функцій та структури екранів АРМ наладчика САК.....	133
7.4. Розробка екранів АРМ наладчика САК.....	134
7.5 Висновки до розділу.....	136
Розділ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.....	137

8.1. Опис основних технічних рішень із побудови САК та склад документації її технічного забезпечення.....	137
8.2. Розробка схеми автоматизації та специфікацій на технічні засоби.....	138
8.3. Розробка принципів схем.....	140
8.4. Розробка схем живлення.....	141
8.5. Розробка схем компонування технічних засобів у щиті або шафі. Складання креслення загального виду щита оператора АРМ.....	141
8.6. Розробка монтажних схем або таблиць з'єднань у щиті оператора.....	142
8.7. Розробка схем або таблиць з'єднань зовнішніх електричних і трубних проводок та компонування робочого місця оператора-технолога.....	142
8.8. Охорона праці.....	143
8.9 Висновки за розділом.....	148
Розділ 9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК.....	149
9.1. Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації.....	149
9.2. Розрахунок показника економічного ефекту від модернізації системи керування..	151
Висновок.....	161
Перелік джерел посилання.....	162
Найменування додатків.....	164

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ

ОК – об'єкт керування;

САК – система автоматичного керування;

ОПС – оптимальний параметричний синтез;

ЗНВ – зона незначимих відхилень;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ПК – персональний комп'ютер;

ОхВ-технологічна вода

і т.і.

Вступ

Задача автоматизації керування технологічним процесом (ТП) є актуальною, оскільки дозволяє підвищити його ефективність за рахунок удосконалення та розвитку алгоритмів та застосування сучасних технічних засобів в системі автоматичного керування (САК). Удосконалення алгоритмів САК передбачає, як мінімум, поліпшення (оптимізацію) налаштувань регуляторів. Розвиток алгоритмів САК передбачає використання додаткової інформації про хід технологічного процесу, що дає можливість доповнити існуючі алгоритми регулювання і створити нові структури САК, наприклад, які забезпечують інваріантність до зовнішніх впливів, автономність контурів регулювання та ін. (вказати конкретно, яка структура використана в КРБ).

Розвиток технічних засобів, насамперед використання промислових контролерів, дозволяє реалізувати додаткові алгоритми регулювання, а також алгоритми пуску та зупинки технологічного обладнання, алгоритми блокування виникнення можливих аварійних ситуацій. Використання панелей оператора або комп'ютерів дозволяє створити робочі місця оператора-технолога та наладчика САК. А це дає можливість швидшого адаптування до зміни умов проведення ТП.

В цілому удосконалення та розвиток САК потребують значно менших затрат у порівнянні із заміною або модернізацією технологічного обладнання.

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

1.1.1 – Історична довідка про підприємство та характеристика виробничої діяльності

Компанія «ІнтерХім» була заснована в 1992 році на базі дослідно-експериментального виробництва НТК Фізико-хімічного інституту ім. О.В. Богатського Національної академії наук України і в 2012 році відзначила своє 20-річчя. Комерційна діяльність починалася з виробництва унікальних продуктів тонкого органічного синтезу, слідом за яким почалося виробництво оригінальних фармацевтичних субстанцій, розроблених вченими Фізико-хімічного інституту ім. О. В. Богатського, а також імпортозамінних субстанцій, які ніколи раніше не вироблялися в Україні.

Ключовою подією у розвитку нашої компанії стало створення заводу з виробництва готових лікарських форм. Будівництво стартувало в серпні 2002 року з «нульового циклу» відповідно до європейських правил належної виробничої практики (GMP) і було здійснено від першої палі до запуску виробництва в рекордні терміни - 2 роки. Ця подія стала останньою ланкою у створенні вітчизняного фармацевтичного виробництва повного циклу, що здійснює скринінг і розробку активних хімічних сполук - виробництво фармацевтичних субстанцій - виробництво готових лікарських засобів (ГЛЗ) - оптову та роздрібну реалізацію ГЛЗ в рамках одного підприємства. Вже через чотири роки після старту виробництва була введена в експлуатацію друга виробнича черга, що дозволило збільшити обсяги виробництва в 4 рази.

З 2007 року лінія з виробництва готових лікарських засобів регулярно проходить сертифікацію на відповідність вимогам міжнародного стандарту належної виробничої практики (GMP). У травні 2016 року компанія запустила третю виробничу чергу, що дозволило збільшити виробничі потужності майже в 4 рази, а також додати до асортиментного портфелю "ІнтерХіма" препарати у формі капсул і порошків в саше.

Одним з пріоритетних напрямків діяльності підприємства спочатку були і залишаються наукові дослідження. Наша компанія має великий науково-дослідний потенціал. На базі власних лабораторій (науково-дослідна, технологічна, контрольна-аналітична і мікробіологічна), оснащених відповідно до міжнародних норм, здійснюється розробка інноваційних лікарських засобів, а також забезпечення і контроль високої якості продукції на кожному етапі виробництва. У 2005 році вперше у фармацевтичній галузі Східної Європи спільно з фірмою «Меггле» (Німеччина) була створена незалежна лабораторія, оснащена як для розробки складів і технологій отримання твердих лікарських форм, так і для виробництва в умовах GMP біосерій для доклінічних і клінічних випробувань лікарських засобів.

«Курс «ІнтерХіму» залишається незмінним — впровадження науки в практику і втілення в життя прогресивних технологічних рішень».

"ІнтерХім" - багатопрофільне підприємство. Окрім дільниць з виробництва готових лікарських засобів, до структури виробничого комплексу входять дільниці з синтезу фармацевтичних субстанцій для власного виробництва лікарських засобів, реалізації фармвиробникам України та експорту. До асортиментного портфелю нашого підприємства входять 8 фармацевтичних субстанцій: Аміксин, Гідазепам, Клоназепам, Клофелін, Левана, Прозерин, Транквілар і Феназепам.

1.1.2 – узагальнена схему ТП та її опис

Система холодопостачання охолоджує і розподіляє ОхВ на установки кондиціонування вентиляційної техніки та технологічне обладнання.

Для підготовки ОхВ передбачається два компресорні холодильні агрегати з конденсатором, що охолоджується розчином етиленгліколю. Система холодопостачання складається з трьох самостійних контурів, двох контурів розчину етиленгліколю (контур А і контур Б) і контуру ОхВ (рисунок 1).

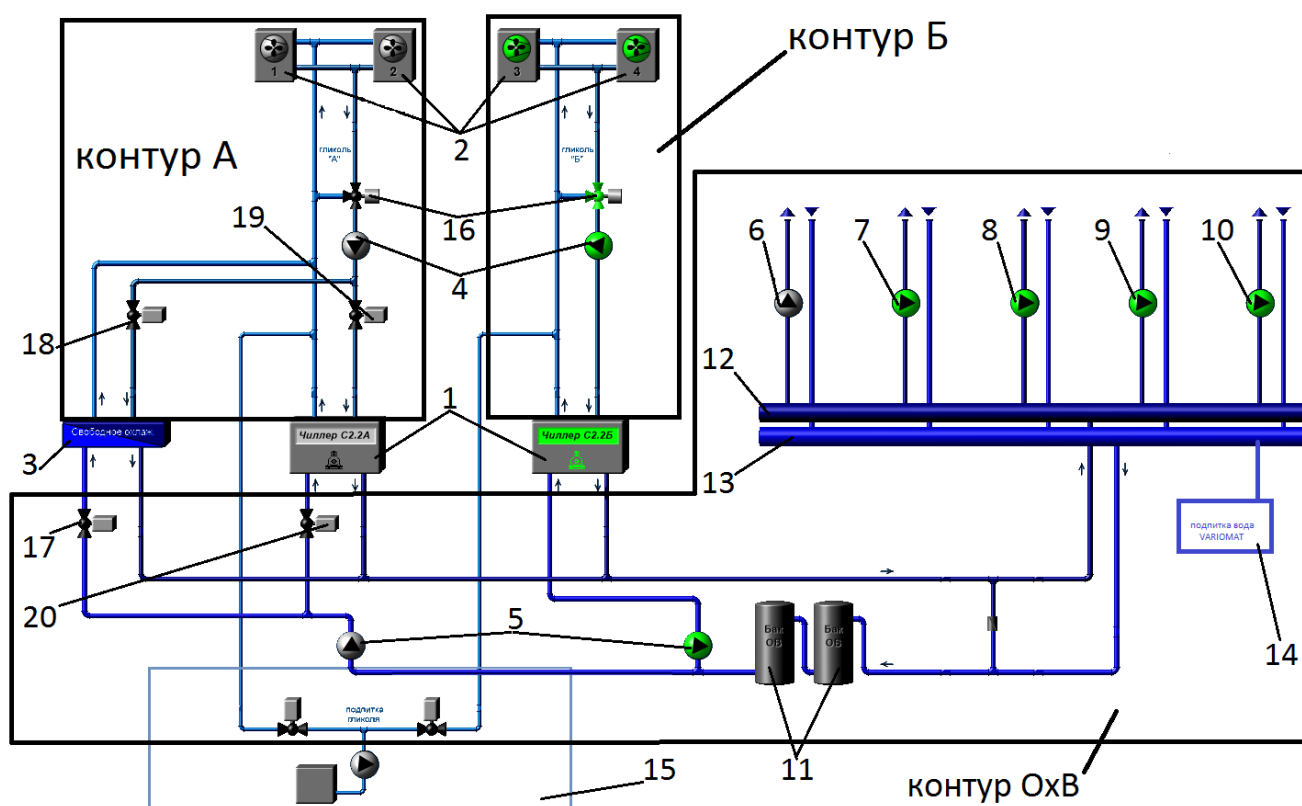


Рис. 1.1 – Схема системи охолодження

1 -Чиллер; 9 -циркуляційний насос ОхВ технології ПО №2 УП ГЛС;
2 -сухий охолоджувач; 10 -циркуляційний насос ОхВ вентиляційного устаткування

- 3 - пластинчастий теплообмінник; 11 - вирівнювальний напірний бак;
 4 - циркуляційний насос гліколевого контуру; 12 - розподільник ОхВ;
 5 - циркуляційний насос охолоджувальної води; 13 - збірник ОхВ;
 6 - циркуляційний насос ОхВ вентиляційного обладнання УП АФІ; 14 - вузол підживлення ОхВ;
 7 - циркуляційний насос ОхВ технології УП АФІ; 15 - вузол підживлення розчину етиленгліколю;
 8 - циркуляційний насос ОхВ енергоблока; 16 - триходовий клапан.

1.1.3 – розгорнута схема ТП для вибраної ділянки автоматизації

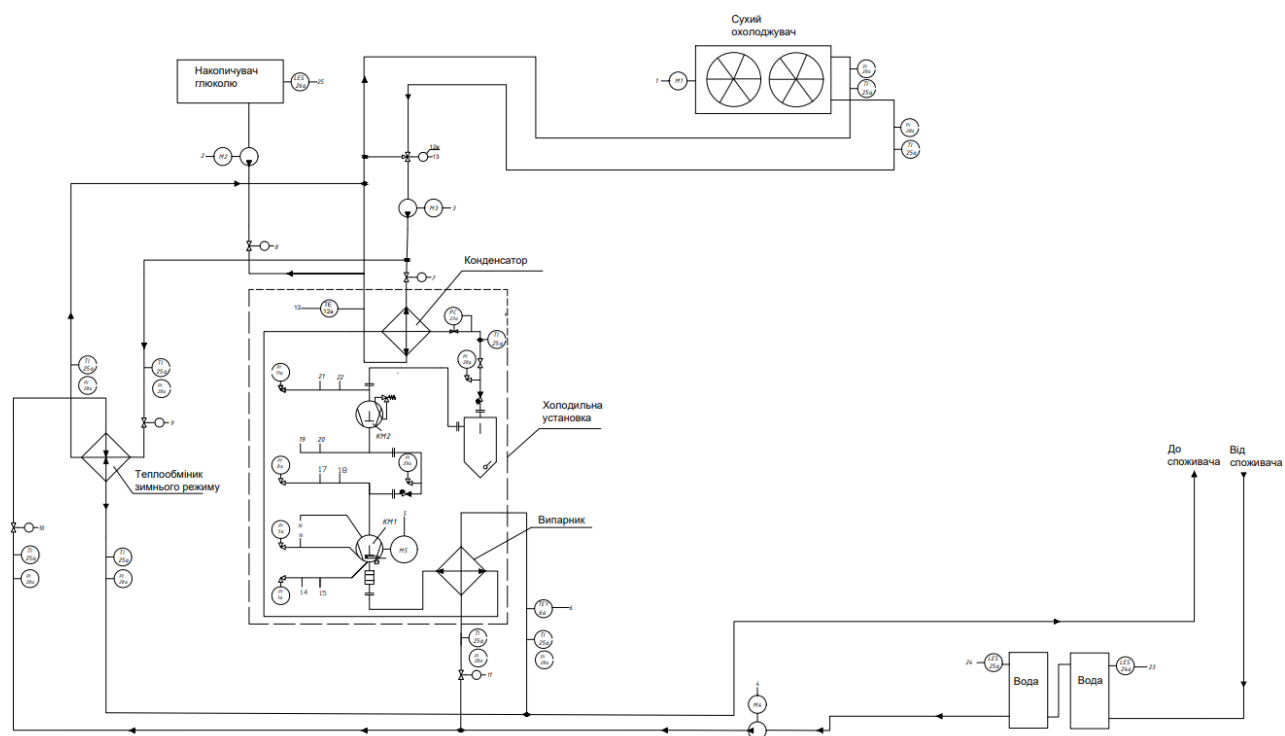


Рис. 1.2—Схема процесу охолодження технологічної води

Гаряча вода від споживача з температурою 12 градусів приходить на буферні накопичувачі, потім на випарник чиллера, який охолоджує її за допомогою випаровування фреону, який кипить у випарнику при температурі -35°C , тим

самим охолоджуючи воду для споживача до 7°C . Холодопродуктивність холодильної машини, і, як наслідок, температура води регулюється шляхом зміни обертів двигуна М5 компресорної станції. Після охолодження води випаруваний холодоагент стискається двоступеневим поршневим компресором КМ1 та КМ2, а стислі пари холодоагенту надходять до конденсатора, що охолоджується гліколем із температурою 40°C , об'єм гліколю дроселюється регулювальним органом в потрібних пропорціях для підтримання на виході конденсатора холодильної машини температури гліколю в 45°C . Сам гліколь, надалі, охолоджується в сухих охолоджувачах на даху цеху.

Також у системі, представлений на рис. 1.2, передбачено зимовий режим роботи, де вода безпосередньо охолоджується гліколем через теплообмінник.

Залежно від температури навколишнього середовища система холодопостачання може працювати в режимі роботи чилера або в режимі "вільного охолодження".

У разі зниження температури зовнішнього повітря нижче $1,5^{\circ}\text{C}$, система холодопостачання автоматично перемикається в режим "вільного охолодження". Під час роботи в цьому режимі джерелом "холоду" служить навколишнє середовище.

При підвищенні температури зовнішнього повітря до $1,8^{\circ}\text{C}$, система автоматично перемикається в режим роботи чилера.

1.1.4 - опис конструкції ТА, яка може бути об'єднана або розподілена на декілька частин, а також особливості його експлуатації;

Чилер - блокова холодильна установка, що виконує роль генератора холоду.

Основні компоненти чилера:

- компресор забезпечує циркуляцію холодоагенту в охолоджувальному контурі. Стискає пари холодоагенту, що надходять з випарника, які потім охолоджуються і конденсуються в конденсаторі;
- конденсатор кожухотрубний теплообмінний апарат, у якому відбувається фазовий перехід холодоагенту з газоподібного стану в рідкий. Тепло, яке холодоагент отримує у випарнику і компресорі, передається розчину етиленгліколю, що протікає трубами, а пари холодоагенту, які циркулюють через кожух, конденсуються в рідину;
- фільтр-осушувач видаляє з холодоагенту вологу, завдяки чому не відбувається закупорка льодом розширювального клапана. Ступінь вологості холодоагенту контролюється індикатором вологості (6, рисунок 2);
- рідкий холодоагент, що виходить із конденсатора, надходить у випарник розширювальний клапан. Тиск холодоагенту в розширювальному клапані змінюється, і рідкий холодоагент надходить у випарник.
- випарник - кожухотрубний теплообмінний апарат, у якому рідкий фреон кипить у трубах, поглинаючи тепло з ОхВ нагрітої після споживачів холоду, що протікає через кожух випарника.

Триходовий клапан підтримує необхідну, задану температуру розчину етиленгліколю після сухих охолоджувачів за різних режимів роботи системи холодопостачання. Для кожного контуру циркуляції розчину етиленгліколю, контур А і контур Б, встановлений окремий регулювальний триходовий клапан

Циркуляційний насос гліколевого контуру забезпечує циркуляцію розчину етиленгліколю між конденсатором чиллера і сухими охолоджувачами під час роботи чиллера та між пластинчастим теплообмінником і сухими охолоджувачами під час роботи системи холодопостачання в режимі "вільного охолодження".

Циркуляційний насос ОхВ забезпечує циркуляцію ОхВ через випарник чиллера і розподільник ОхВ під час роботи чиллера і циркуляцію ОхВ через пластинчастий теплообмінник і розподільник ОхВ під час роботи системи холодопостачання в режимі "вільного охолодження". Контроль роботи циркуляційного насоса ОхВ здійснюється за допомогою манометра - тиск до насоса і манометра - тиск після насоса .

У розподільник надходить ОхВ після чилера або пластинчастого теплообмінника , залежно від режиму роботи системи холодопостачання, і лунає до споживачів холоду за допомогою насосів

У збірник ВхВ надходить теплена ВхВ після споживачів холоду і надходить для охолодження в чиллер або в пластинчастий теплообмінник, залежно від режиму роботи системи холодопостачання.

Під час роботи системи холодопостачання в режимі "вільного охолодження" в пластинчастому теплообміннику холодний розчин етиленгліколю охолоджує теплену після споживачів холоду ОхВ

Зрівняльний бак - теплоізольована сталева ємність, служить для створення запасу ОхВ і згладжування піків теплового навантаження на систему холодопостачання під час роботи регульовальних пристроїв споживачів холоду. У контурі ОхВ передбачено два зрівняльні баки.

Автомат підживлення контуру ОхВ слугує для підтримання тиску в контурі ОхВ, забезпечує деаерацію контуру ОхВ і за потреби додає пом'якшену воду в контур ОхВ.

Вузол підживлення розчину етиленгліколю розчином етиленгліколю слугує для автоматичного підтримання робочого тиску розчину етиленгліколю в контурі А та в контурі Б під час різних режимів роботи системи холодопостачання і працює в автоматичному режимі.

1.1.5 - сформульовані (у загальному виді) умови, при яких можливо і економічно доцільно реалізувати розглянутий ТП;

Мета ведення процесу охолодження води – 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.

Таких як:

- є достатній тиск води на вході до теплообічника ;
- тиск фреону в чиллері не перевищує номінальних значень;
- питомі, тобто на одиницю продукції, витрати енергії на процес не повинні перевищувати нормативних значень;
- режими роботи технологічного обладнання не повинні виходити за граничноприпустимі;
- шкідливий вплив технологічного процесу на людину й природу не повинне перевищувати нормативних значень.

1.1.6 Параметризація схеми технологічного процесу і загальна характеристика параметрів і їх взаємозалежностей.

Технологічний процес охолодження води є тепловим процесом, пов'язаним з

Передачею тепла. Важливою умовою нормального функціонування технологічного

процесу є постійна підтримка заданої температури. Проведемо параметризацію технологічної

схеми. Результати параметризації наведені на рис. 1.3

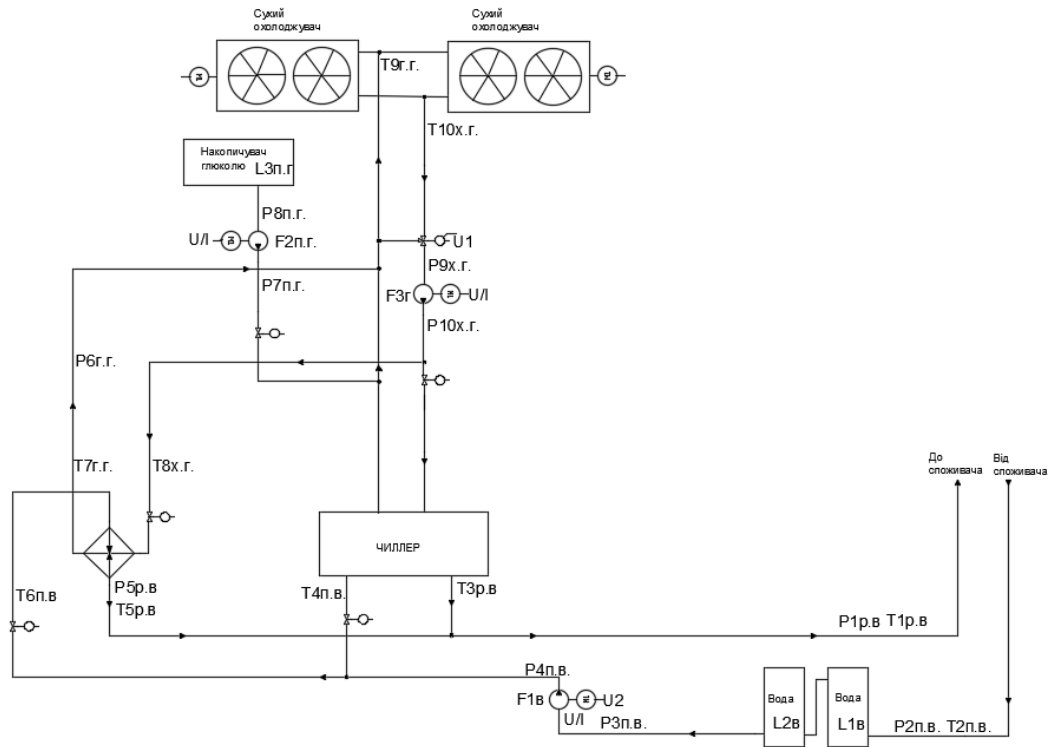


рис. 1.3– параметризована схема

$F_{п.в}$, $T_{п.в}$, $P_{п.в}$ – витрати, температури і тиск води від споживача;

$F_{р.в}$, $T_{р.в}$, $P_{р.в}$ – витрати, температури і тиск води до споживача;

$F_{х.г}$, $T_{х.г}$, $P_{х.г}$ – витрати, температури і тиск «холодного» гліколю;

$F_{г.г}$, $T_{г.г}$, $P_{г.г}$ – витрати, температури і тиск «гарячого» гліколю;

$P_{п.г}$, $F_{п.г}$ – тиск та витрати підпитки гліколя; Q_T – теплопередача

теплообмінника;

U , I - параметри двигунів електроприводу (ПЕД) насосів.

$L1в, L2в$ - рівень у проміжних баках з водою

1.1.7 Конкретизація регламентів і умов ведення процесу, його формалізоване представлення, первинний аналіз ТП та ТА

Виявлення нормативів ведення технологічного процесу і роботи технологічного агрегату.

У результаті декомпозиції загальної задачі виробництва одержуємо, що на рівні окремих одиниць технологічного устаткування повинні виконуються технологічні, експлуатаційні, і техніко-економічні регламенти.

А уже виходячи з цього задачі керування можна визначити як задачі регулювання, тобто забезпечення вимог регламенту.

Виявлення параметрів, що характеризують умови ведення технологічного процесу та експлуатації технологічного агрегату.

Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від номінальних внаслідок зміни умов, в яких ведеться процес. Ці умови також характеризуються певними параметрами і можуть бути згруповані за деякими ознаками.

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. До цієї групи параметрів віднесемо: $F_{рв}$ – витрати води ; $T_{рв}$ – температураводи ; $P_{рв}$ - тиск води .

Енергетичні параметри характеризують енергію, яка підводиться до технологічного устаткування ззовні і витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи параметрів віднесемо: F_p , T_p , P_p – витрати, температура і тиск глюколю; U , I – напруга і струм живлення двигунів електроприводу.

Механічні параметри технологічного обладнання характеризують стан його робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо: Q_t – теплопередача теплообмінника.

Формалізація параметризованої схеми технологічного процесу і одержання його параметричної схеми.

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

1.1.8. Аналіз наслідків виходу технологічних і експлуатаційних параметрів за регламентні допуски.

При відхиленні параметрів процесу охолодження води від регламентованих значень, обумовлених зміною параметрів, що характеризують умови ведення процесу, навіть при досить ефективному керуванні ним, можуть перевищувати припустимі значення. Однак при виході за допуски технологічних регламентів технологічний процес не зупиняється, а вихід за допуски ліквідується із часом. Наслідком виходу технологічних параметрів за допуски є нестабільність температури води. Допуски на відхилення поточних значень регламентованих параметрів діляться на тривалі та короткочасні. Припустимі відхилення визначають зону незначних відхилень, середнє значення параметру якої можна вважати близьким до нормативного, тому ці відхилення не ліквідують. Короткочасні припустимі відхилення параметрів перевищують зону незначних відхилень і призводять до зниження ефективності процесу, тому вони припустимі тільки протягом обмеженого часу, що задається й входить у регламент. Вихід параметрів за зону короткочасно припустимих відхилень свідчить про відхилення технологічного процесу або експлуатації обладнання, що можуть призвести до аварії. Для аналізу нормативів ведення процесу випічки хліба складемо таблицю регламентів (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Номінальні значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Довготривалі	Короткочасні	
						Величина	Величина
1	Температура гліколю на виході чиллера	Тгл.	°С	45	±0,5	±2	100 с
2	Температура води на виході чиллера	Твод	°С	7	±0,2	±1	200 с

1.1.9 Виявлення параметрів, що характеризують умови ведення технологічного процесу та експлуатації технологічного агрегату.

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

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. До цієї групи параметрів віднесемо параметри сировини: P2п.в T2п.в.

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного встаткування ззовні й витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи параметрів віднесемо: P10х.г. T10хг. T10г.г

Механічні (або інші специфічні) параметри технологічного обладнання характеризують стан їх робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо: U1, U2.

1.1.10 Формалізація параметризованої схеми технологічного процесу і отримання його параметричної схеми.

Параметризована схема ТП має змістовний характер. Формалізація опису взаємозв'язків між параметрами ТП досягається за рахунок переходу до формалізованої параметричної схеми ТП. При цьому ті параметри, які відображають цілі функціонування об'єкта моделювання та додаткових вимог до нього, тобто регламентовані параметри будуть вихідними, а параметри, що відображають умови функціонування об'єкта вхідними. Зв'язок між вхідними і вихідними параметрами – причинно-наслідковий. У рамках даної схеми ці зв'язки задаються тільки на якісному рівні, згодом деякими зв'язками можна буде знехтувати, деякі уявити опосередковано. Параметрична схема процесу охолодження води наведена на рис. 1.4.

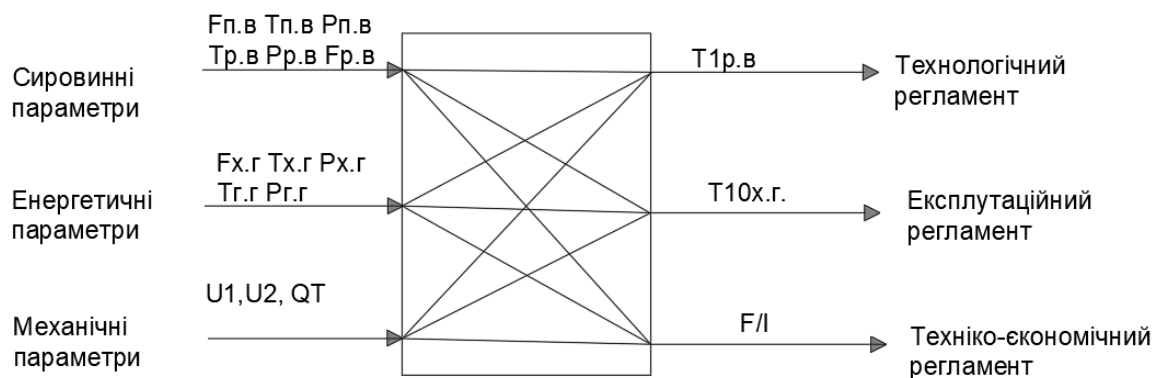


Рис. 1.4–Параметрична схема процесу охолодження води

1.2 Аналіз існуючого рівня автоматизації ділянки ТП

1.2.1 засоби отримання інформації про хід ТП і стан ТА

Датчик температури 4-20мА -2 шт.

Занурювальний датчик-реле рівня – 2 шт. (в резервуарі накопичувачі води)

Ультразвуковий датчик-реле рівня – 1 шт. (в кришці резервуара з гліколем

Реле тиску- 4 шт (перед та після 1 і 2 ступені компресора)

Термореле- 4 шт (перед та після 1 і 2 ступені компресора)

Диферинційне реле тиску мастила 1 шт (на першій ступені компресора КМ1)

Відсічні клапани 24В – 5 шт.

1.2.2 засоби безпосереднього впливу на процес

Регулюючий клапан Velimo 2-10В (на трубопроводі холодного гліколю) та блок ручного управління БРУ-7 на щиті.

Частотний перетворювач (в щиті)

1.2.3 засоби обробки інформації і формування керуючих дій

Контроллер Siemens S7-1500 (в щиті)

1.2.4 засоби представлення інформації технологічному персоналу і оператору процесу

Система візуалізації Siemens TP1900 Comfort HMI Panel 12,1" (на щиті)

1.2.5 умови при яких можливий технологічний пуск, зупинка , аварійна зупинка та умови при яких необхідно блокувати предаварійну ситуацію.

Умови пуску ділянки: наявність води в проміжних накопичувачах та гліколю в накопичувачі гліколю.

Умови зупинки: ---

Умови аварійного останова : якщо спрацював будь-який захисний датчик-реле компресорної установки або датчик-реле рівня.

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

варіанти:

Зменшення енергоспоживання за рахунок оптимального режиму пуску і зупинки обладнання на 2%

Зменшення браку продукції на 5% за рахунок внерення другого контуру регулювання в чиллер холодильної установки

Зменшення часу, який необхідний для виходу холодильної установки на режим, за рахунок оптимального пуску, зупинки та впровадження 2 контуру регулювання.

Завдяки скороченню часу виходу холодильної установки на режим, та впровадженню другого контуру регулювання ми домоглися зменшення часу, необхідного для запуску обладнання виробництва таблеток. Що допомогло нам заощадити 5% прибутку.

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

Для процесу охолодження води в якості регульованої координати доцільно обрати температуру температури гліколю на виході з теплообмінника (T_{gl}) та температуру води на виході з чиллера ($T_{вод}$). В якості регульованої координати доцільно віднести регулюючий клапан та обороти компресора чиллера. Які є регулюючими органами, що регулюють подачу гліколю та холодопродуктивність. Позначені вони як U_1 та U_2 .

У процесі класифікації збурень не було виявлено таких, які доцільно віднести до контрольованих. Тому всі збурення було зведено до двох векторів неконтрольованих збурень f_1 та f_2

Структурна схема ОК, по суті, є найбільш загальною (концептуальною) моделлю технологічного процесу як ОК. Структурна схема процесу охолодження води наведена на рис. 2.1

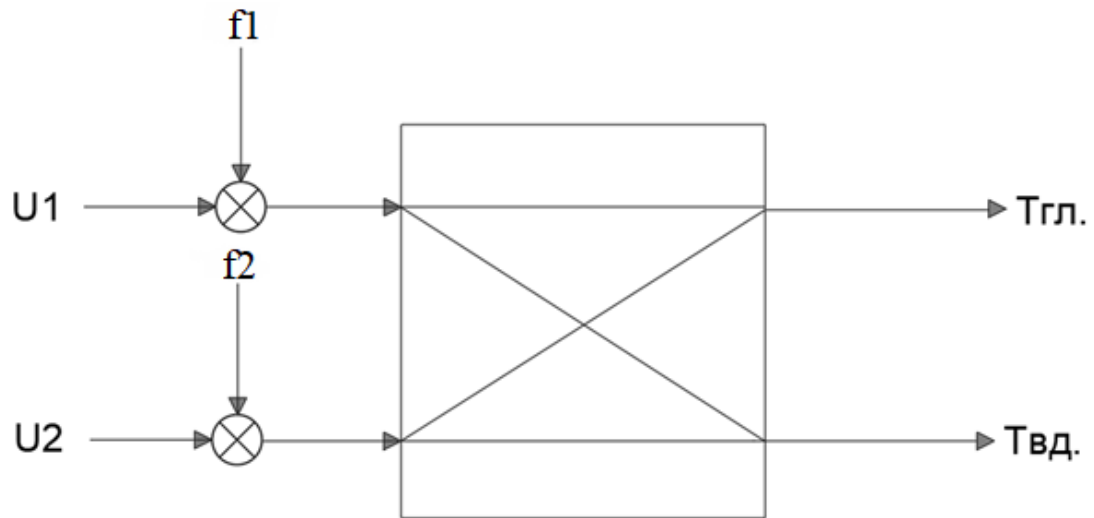


Рис. 2.1 – Структурна схема процесу охолодження води як об'єкту регулювання

U1- змінення положення регулюючого клапана який змінює витрати гліколю

U2 – частота обертів компресора холодильної машини, яка змінюється частотним перетворювачем

f1 та f2-вектор неконтрольованих збурень

Тгл-температура гліколю

Твд-температура води

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

Проводимо апріорний аналіз динамічних властивостей каналів ОК. Слід за кожним каналом ОК відповісти на два запитання: чи має канал властивість самовирівнювання? Збільшення керуючої дії призведе до збільшення чи зменшення регульованої координати? Кожен канал ОК має властивість самовирівнювання.

Збільшення керуючої дії U1 призведе до зменшення температури.

Збільшення керуючої дії U2 призведе до збільшення температури.

Плануємо та проводимо активні експерименти з ідентифікації моделей динаміки каналів ОК. Результати потрібно подати у вигляді перехідних характеристик.

План активного експерименту включає в себе:

1. За допомогою зміни управляючих дій домагаємося значень регульованих координат, що перебували б в околицях їх номінальних значень. Для нашого ОК значенням $U_1 = 60$ %х.р.о. та $U_2 = 60$ %х.р.о. будуть відповідати значення регульованих координат $T_{gl}=45^{\circ}\text{C}$ $T_{vod}=7^{\circ}\text{C}$

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%х.р.о., відзначивши при цьому момент початку його зміни.

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

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

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

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

Результати активного експерименту наведені нижче

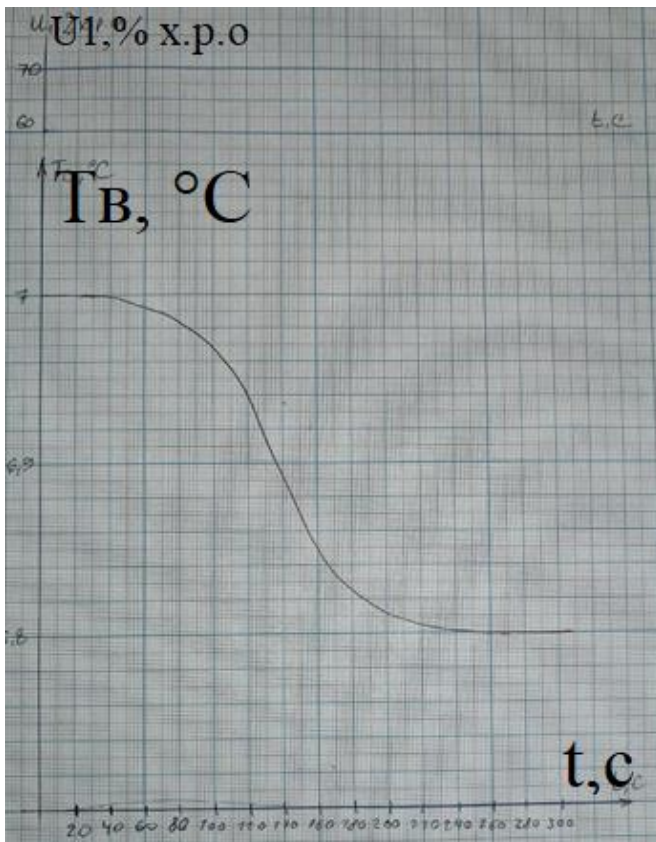


Рис. 2.2 – Результаты активного эксперимента «U1-Tvod»

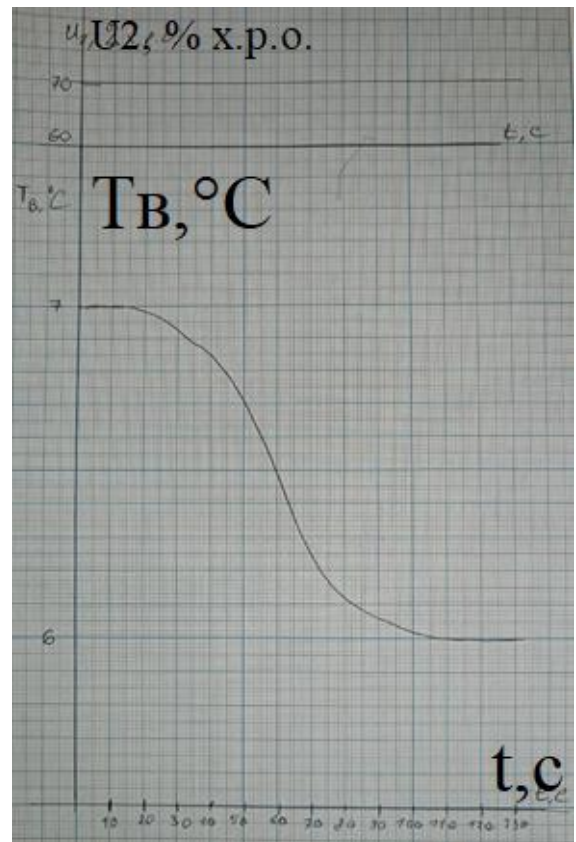


Рис. 2.3 – результаты активного эксперимента «U2-Tvod»

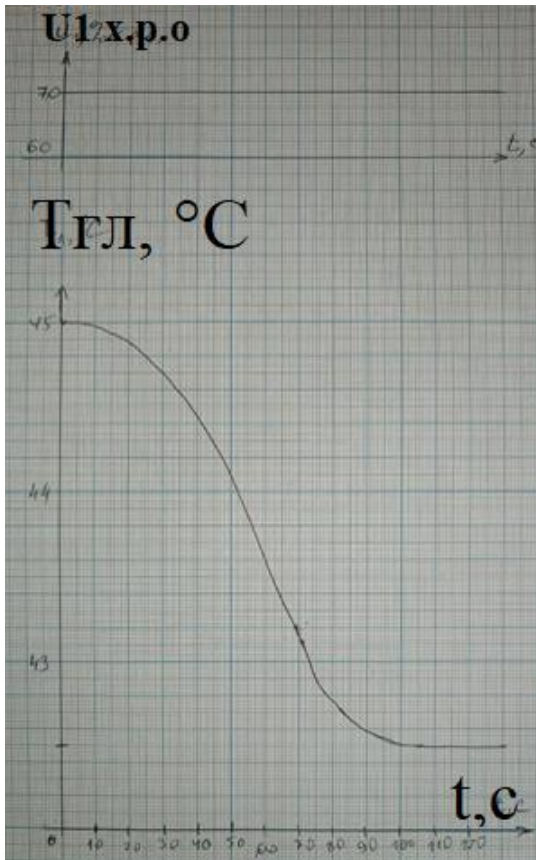


Рис.2.4 – результати активного експерименту «U1-Тгл»

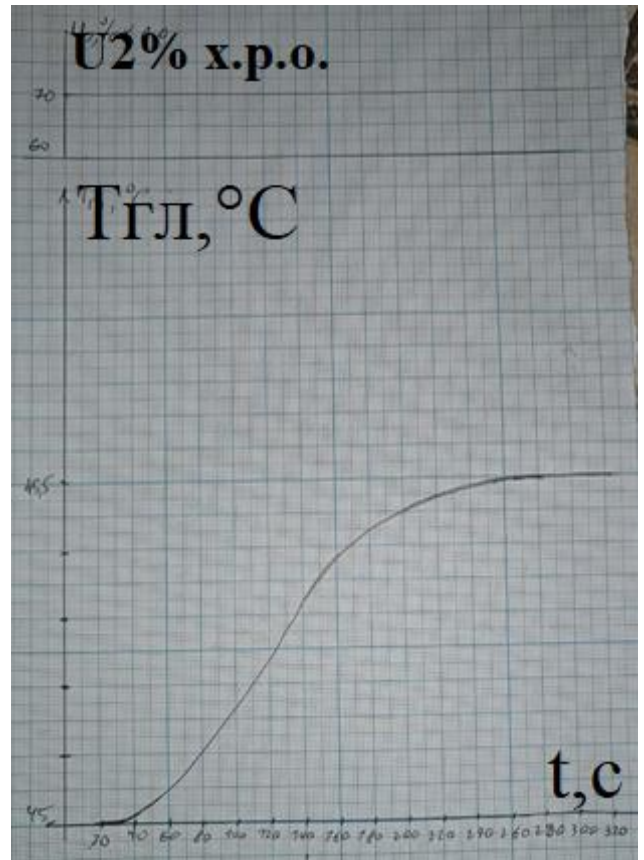


Рис. 2.5 – результати активного експерименту «U2-Тгл»

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

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

Проведемо структурну та параметричну ідентифікацію моделей динаміки каналів ОК.

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

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики „двох загальних точок”.

Канал «U1-Tvod»

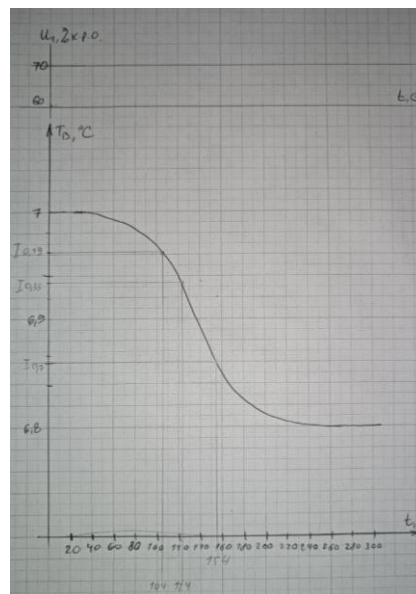


Рис. 2.6– Параметрична ідентифікація моделі ОК «U1-Tvod»

$$W_{U_1-Tvod}^0(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{T p + 1} - \text{математична модель об. 1 - го порядку}$$

$$k = \Delta I / \Delta U_1 = (I_k - I_{II}) / (U_{1k} - U_{1II}) = (6.8 - 7) / (70 - 60) = -0.02 \text{ *C} \% \text{x.p.o.}$$

Модель 1-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0.33} - t_{0.7}) / 2 = (3 \cdot 124 - 154) / 2 = 109 \text{ c}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (154 - 109) / 1,2 = 37,5 \text{ с}$$

$$t_{0,33} = 124 \text{ с}$$

$$t_{0,7} = 154 \text{ с}$$

$$W_{U_1-Tvod}^0(p) = \frac{-0,02 \cdot e^{-109p}}{37,5p + 1}$$

$$W_{U_1-tvod}^0(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{(Tp + 1)^2} - \text{матиматична модель об. другого порядку}$$

Модель 2-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 104 - 154) / 2 = 79 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (154 - 79) / 2,4 = 31,25 \text{ с}$$

$$t_{0,19} = 104 \text{ с}$$

$$W_{U_1-Tvod}^0(p) = \frac{-0,02 \cdot e^{-79p}}{(31,25p+1)^2}$$

Канал «U2-Tvod»

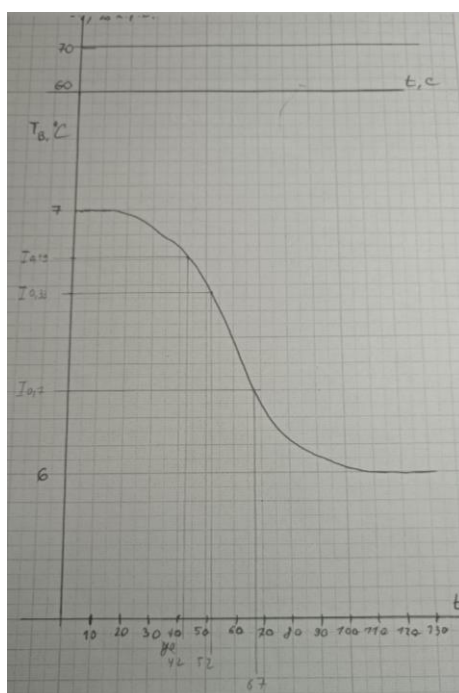


Рис. 2.7– параметрична ідентифікація моделі ОК «U2-Tvod»

$$W_{U_2-Tvod}^O(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{Tp + 1} - \text{математична модель об. 1 - го порядку}$$

$$k = \Delta I / \Delta U_1 = (I_k - I_{II}) / (U_{IK} - U_{II}) = (6 - 7) / (70 - 60) = -0,1$$

Модель 1-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 52 - 67) / 2 = 44,5 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (67 - 44,5) / 1,2 = 18,75 \text{ с}$$

$$t_{0,33} = 52 \text{ с}$$

$$t_{0,7} = 67 \text{ с}$$

$$W_{U_2-Tvod}^O(p) = \frac{-0,1 \cdot e^{-44,5p}}{18,75p + 1}$$

$$W_{U_2-Tvod}^O(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{(Tp + 1)^2} - \text{матиматична модель об. другого порядку}$$

Модель 2-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 42 - 67) / 2 = 29,5 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (67 - 29,5) / 2,4 = 15,62 \text{ с}$$

$$t_{0,19} = 42 \text{ с}$$

$$W_{U_1-I}^O(p) = \frac{-0,1 \cdot e^{-29,5p}}{(15,62p+1)^2}$$

Канал «U1-Tгл»

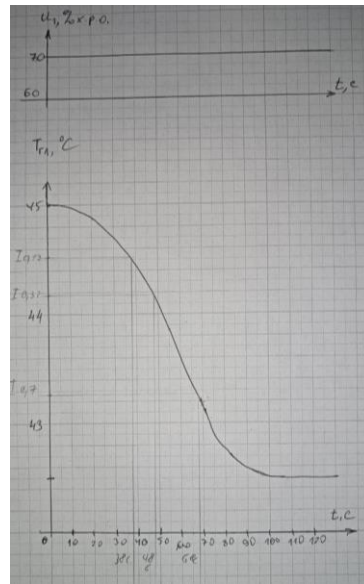


Рис. 2.8—параметрична ідентифікація моделі ОК «U1-Тгл»

$$W_{U_1-Тгл}^O(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{Tp + 1} - \text{математична модель об. 1 - го порядку}$$

$$k = \Delta I / \Delta U_1 = (I_k - I_p) / (U_{1k} - U_{1п}) = (42.5 - 45) / (70 - 60) = -0,25$$

Модель 1-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 48 - 68) / 2 = 38 \text{ c}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (68 - 38) / 1,2 = 25 \text{ c}$$

$$t_{0,33} = 48 \text{ c}$$

$$t_{0,7} = 68 \text{ c}$$

$$W_{U_1-Тгл}^O(p) = \frac{-0,25 \cdot e^{-38p}}{25p + 1}$$

$$W_{U_1-Тгл}^O(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{(Tp + 1)^2} - \text{матиматична модель об. другого порядку}$$

Модель 2-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 38 - 68) / 2 = 23 \text{ c}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (68 - 23) / 2,4 = 18,75 \text{ с}$$

$$t_{0,19} = 38 \text{ с}$$

$$W_{U_1-T_{ГЛ}}^O(p) = \frac{-0,25 \cdot e^{-23p}}{(18,75p+1)^2}$$

Канал «U2-ТГЛ»

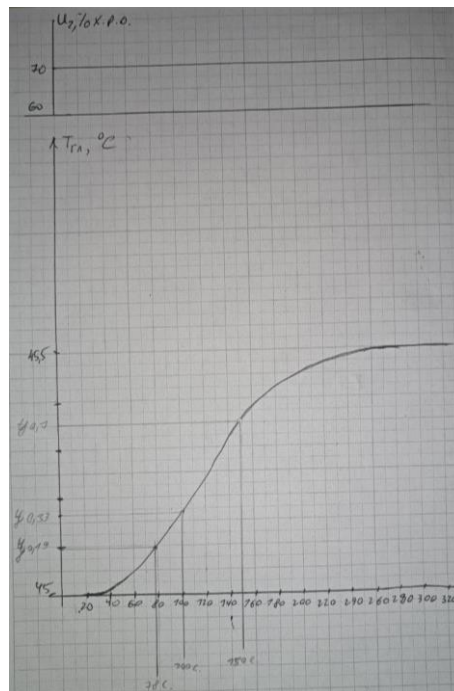


Рис.2.9–параметрична ідентифікація моделі ОК «U2-ТГЛ»

$$W_{U_2-T_{ГЛ}}^O(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{Tp + 1} \text{ – математична модель об. 1 – го порядку}$$

$$k = \Delta I / \Delta U_1 = (I_{к} - I_{п}) / (U_{1к} - U_{1п}) = (45,5 - 45) / (70 - 60) = 0,05$$

Модель 1-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 100 - 150) / 2 = 75 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (150 - 75) / 1,2 = 62,5 \text{ с}$$

$$t_{0,33} = 100 \text{ с}$$

$$t_{0,7} = 150 \text{ с}$$

$$W_{U_2-\text{Тгл}}^O(p) = \frac{0,05 \cdot e^{-75p}}{62,5p + 1}$$

$$W_{U_2-\text{Тгл}}^O(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{(Tp + 1)^2} - \text{матиматична модель об. другого порядку}$$

Модель 2-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 78 - 150) / 2 = 42 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (150 - 42) / 2,4 = 45 \text{ с}$$

$$t_{0,19} = 78 \text{ с}$$

$$W_{U_2-\text{Тгл}}^O(p) = \frac{0,05 \cdot e^{-42p}}{(45p+1)^2}$$

Проведемо структурний І параметричний синтез САР моделей стативи. Для цього сплануємо активний експеримент. Результати подано у табличному вигляді

Таблиця 2.1- Результати екперементу для визначення статичної хар. ОК

U ₁ , %х.р.о.	U ₂ , %х.р.о.	Тгл°С	Тв°С
60	60	45	7
70	60	42,5	6,8
80	60	40	6,6
50	60	47,5	7,2
40	60	50	7.4
60	70	45.5	6
60	80	46	5

60	50	44.5	8
60	40	44	9

Побудова у графічному вигляді статичних характеристик ОК рисунки: 2.10, 2.11, 2.12, 2.13

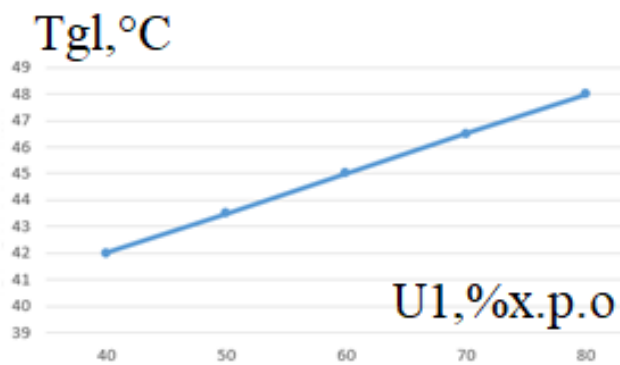


Рис. 2.10–результат експерименту для визначення статичної характеристики ОК «U1-Tgl»

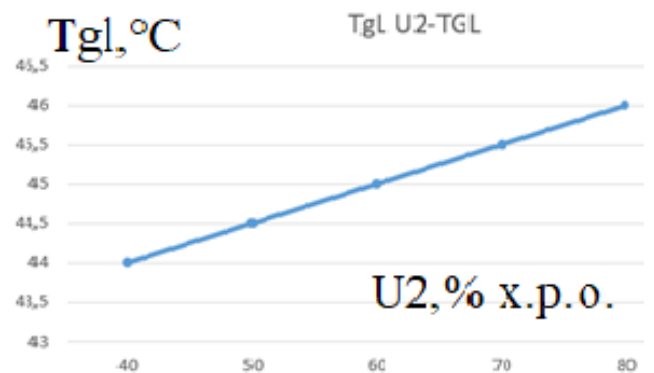


Рис 2.11–результат експерименту для визначення статичної характеристики ОК «U2-Tgl»

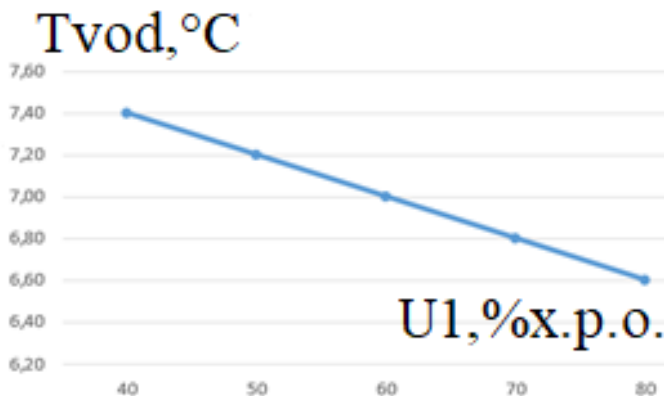


Рис.2.12–результат експерименту для визначення статичної характеристики ОК «U1-Tvod»

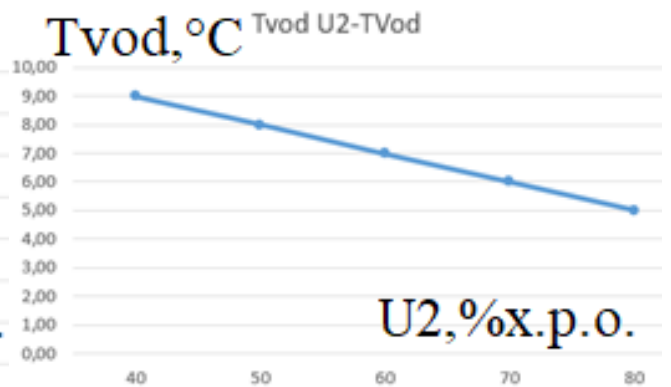


Рис.2.13–результат експерименту для визначення статичної характеристики ОК «U2-Tvod»

Проведемо структурну ідентифікацію моделей каналів ОК.

$$T_{гл.} = a_1 * U_1 + a_2 * U_2 + a_0$$

$$T_{вд.} = b_1 * u_1 + b_2 * U_2 + b_0$$

Провести параметричну ідентифікацію моделей каналів ОК.

$$a_1 = K_{u_1 - T_{гл.}} = -0,25 \text{ *C/\% х.р.о.}$$

$$a_2 = K_{u_2 - T_{гл.}} = 0,05 \text{ *C/\% х.р.о.}$$

$$b_1 = K_{u_1 - T_{вд.}} = -0,02 \text{ *C/\% х.р.о.}$$

$$b_2 = K_{u_2 - T_{вд.}} = -0,1 \text{ *C/\% х.р.о.}$$

$$a_0 = T_{гл.} - a_1 * U_1 - a_2 * U_2 = 45 - (-0,25) * 60 - 0,05 * 60 = 57 \text{ *C}$$

$$b_0 = T_{вд.} - b_1 * U_1 - b_2 * U_2 = 7 - (-0,02) * 60 - (-0,1) * 60 = 14,2 \text{ *C}$$

2.3 Ідентифікація математичних моделей збурень об'єкта регулювання

Моделі неконтрольованих збурень доцільно представити як суму чотирьох складових. Причому, детерміновану складову доцільно привести до управляючої дії, а квазидетерміновану та стохастичну складові f_2C доцільно привести до регульованої координати.

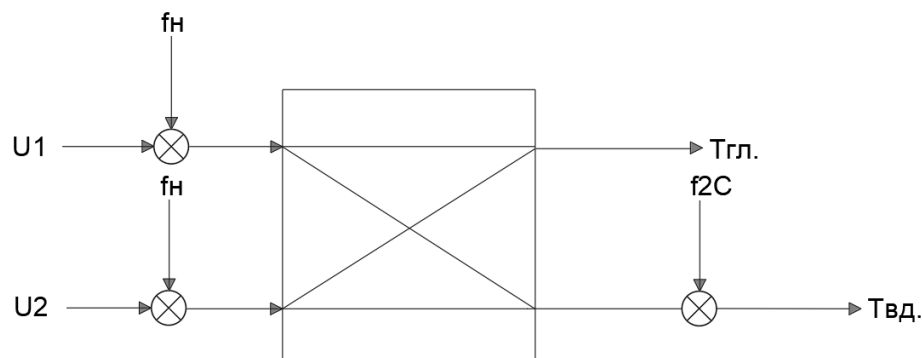


Рис. 2.15– структурна схема додавання координатних збурень

Спланувати та провести пасивний експеримент для ідентифікації моделей збурень як випадкових процесів.

Номер в журналі викладача – 6

U2-Tvod $T_{vod} (u_2 = 0\% \text{ х.р.о.}) = 13^\circ\text{C}$

$T_{вод} = 7^\circ\text{C}$ $\tau_{u_2 - tvod} = 44.5 \text{ с.}$

Проводимо експеримент

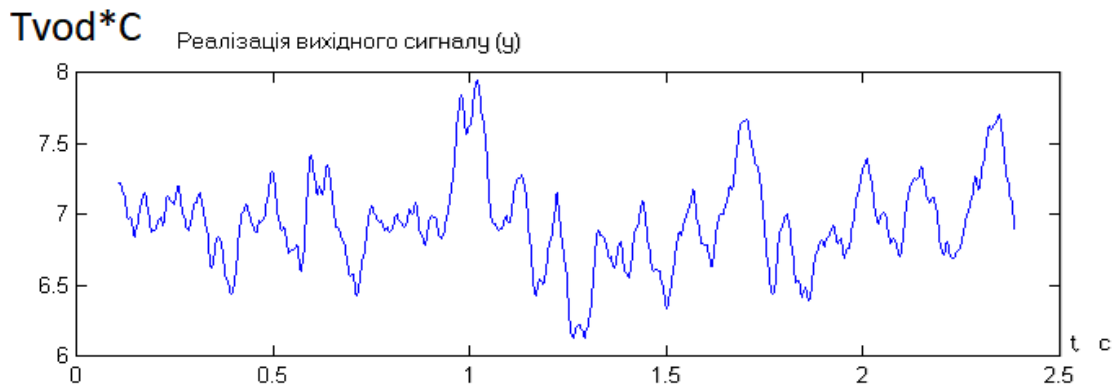


Рис.2.16–результат генерації випадкового процесу,що відповідає сигналу неконтрольованого збурення для досліджуваного ОК

Першим етапом ідентифікації моделі контрольованих і неконтрольованих збурень є оцінювання імовірнісних характеристик відповідних випадкових процесів

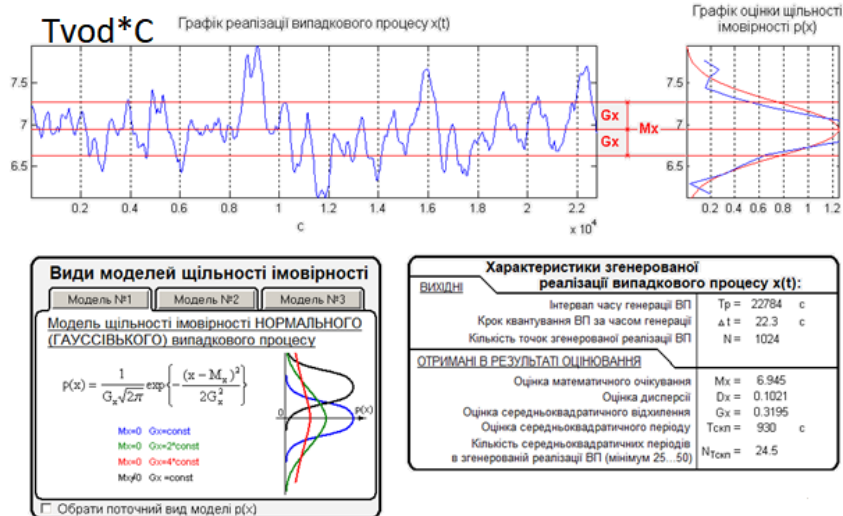


Рис.2.17–Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідно неконтрольованим збуренням

За результатами оцінювання нормованих кореляційних функцій з набору типових декілька варіантів моделей кореляційних функцій і спектральних щільностей.

Найбільш схожі моделі №1 та №2. Для моделі №2 маємо дані розрахункові формули:

$$R_x(\tau_k) = D_x \exp\{-\alpha |\tau_k|\} (1 - \alpha |\tau_k|)$$

$$S_x(\omega) = \frac{D_x 4\alpha\omega^2}{(\omega^2 + \alpha^2)^2}$$

Обираємо модель збурень.

Номер моделі	α	β	A	C	γ	Значення критерію оптимізації
✓ 1	0.002775	-	-	-	-	2.9322
✓ 5	0.0019654	0.0014977	-	-	-	2.5553
✓ 6	0.0055148	0.0013323	-	-	-	2.4477
✓ 2	0.000975	-	-	-	-	1.727

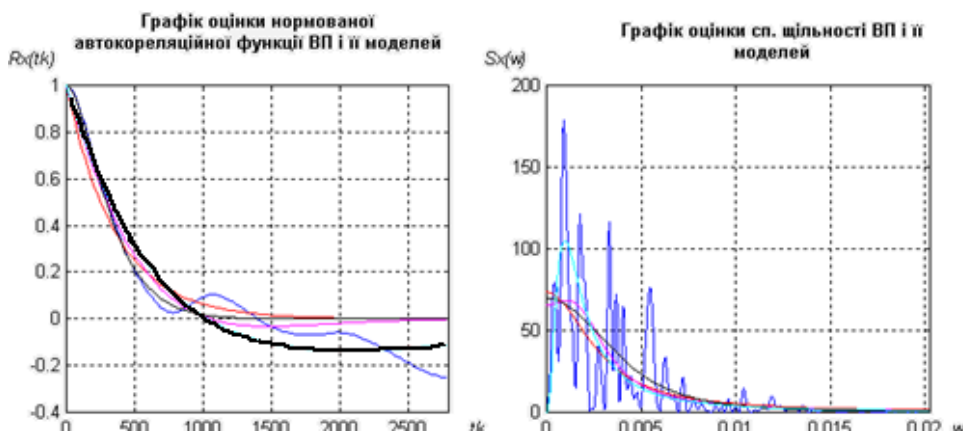


Рис. 2.18–Підсумкові результати ідентифікації моделі контрольованого збурення

Аналіз характеру збурень показав, що в якості збурень випадкового характеру достатньо буде розглядати збурення, приведені до температури в другій зоні випічки. Ідентифікація моделей випадкових складових неконтрольованих збурень

показала, що за квадратом відхилення моделі автокореляційної функції від її оцінки, кращою виявилася модель №2.

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

Відтворимо моделі каналів ОК в середовищі імітаційного моделювання.

Експериментальні данні зведемо в таблицю Таблица 2.2

U1-Tgl		U2-Tgl		U2-Tvod		U1-Tvod	
t,c	Tgl,*C	t,c	Tgl,*C	t,c	Tvod,*C	t,c	Tvod,*C
0	45	0	45	0	7	0	7
5	45	10	45	5	7	10	7
10	44,98	20	45	10	7	20	7
15	44,94	30	45,005	15	7	30	7
20	44,88	40	45,015	20	6,98	40	6,998
25	44,8	50	45,03	25	6,96	50	6,996
30	44,7	60	45,045	30	6,93	60	6,992
35	44,59	70	45,07	35	6,89	70	6,989
40	44,44	80	45,1	40	6,85	80	6,984
45	44,3	90	45,135	45	6,79	90	6,976
50	44,1	100	45,165	50	6,71	100	6,968
55	43,86	110	45,2	55	6,6	110	6,956
60	43,6	120	45,235	60	6,49	120	6,94
65	43,3	130	45,275	65	6,37	130	6,916
70	43,12	140	45,32	70	6,25	140	6,892
75	42,95	150	45,35	75	6,17	150	6,87
80	42,76	160	45,38	80	6,12	160	6,85
85	42,66	170	45,405	85	6,08	170	6,835
90	42,58	180	45,425	90	6,06	180	6,826
95	42,52	190	45,44	95	6,04	190	6,818
100	42,5	200	45,455	100	6,02	200	6,812
105	42,5	210	45,467	105	6,01	210	6,808
110	42,5	220	45,475	110	6	220	6,804
115	42,5	230	45,485	115	6	230	6,802
120	42,5	240	45,49	120	6	240	6,8
		250	45,495	125	6	250	6,8
		260	45,495	130	6	260	6,8
		270	45,495			270	6,8
		280	45,5			280	6,8
		290	45,5			290	6,8
		300	45,5			300	6,8
		310	45,5				
		320	45,5				

Таблица 2.2 -Експериментальні данні для відтворення апроксимацій

Математичні моделі каналів

<p>Канал U1-Tvod</p> $W_{U1-Tvod}^O(p) = \frac{-0,02 \cdot e^{-109p}}{37,5p+1} - 1\text{й поря}$ $W_{U1-Tvod}^O(p) = \frac{-0,02 \cdot e^{-79p}}{(31,25p+1)^2} - 2\text{й порядок}$	<p>Канал U2-Tvod</p> $W_{U2-Tvod}^O(p) = \frac{-0,1 \cdot e^{-44,5p}}{18,75p+1} - 1\text{й порядок}$ $W_{U2-Tvod}^O(p) = \frac{-0,1 \cdot e^{-29,5p}}{(15,62p+1)^2} - 2\text{й порядок}$
<p>Канал U1-Tgl</p> $W_{U1-Tgl}^O(p) = \frac{-0,25 \cdot e^{-38p}}{25p+1} - 1\text{й порядок}$ $W_{U1-Tgl}^O(p) = \frac{-0,25 \cdot e^{-23p}}{(18,75p+1)^2} - 2\text{й порядок}$	<p>Канал U2-Tgl</p> $W_{U2-Tgl}^O(p) = \frac{0,05 \cdot e^{-75p}}{62,5p+1} - 1\text{й порядок}$ $W_{U2-Tgl}^O(p) = \frac{0,05 \cdot e^{-42p}}{(45p+1)^2} - 2\text{й порядок}$

Експериментальні данні було наведено у таблиці 2.1

Канал «U1-Tvod»

Побудуємо схеми моделювання ОК за кожним каналом

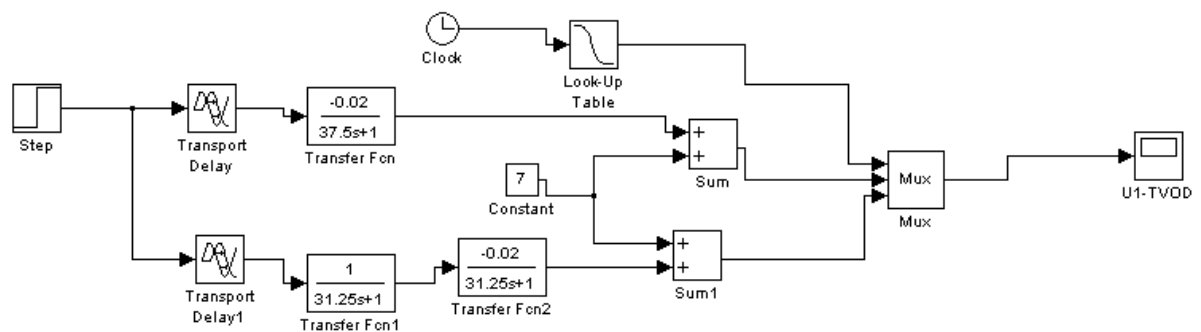


Рис.2.19 -Схема перевірки відповідності моделей експериментальних даних в середовищі імітаційного моделювання matlab Simulink «U1-Tvod»

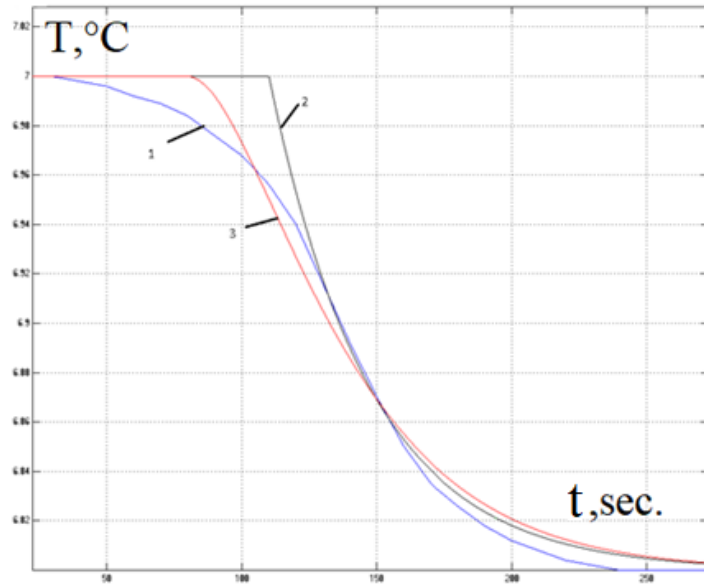


Рис.2.20– результати моделювання за каналом «U1-Tvod»

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

Канал «U2-Tvod»

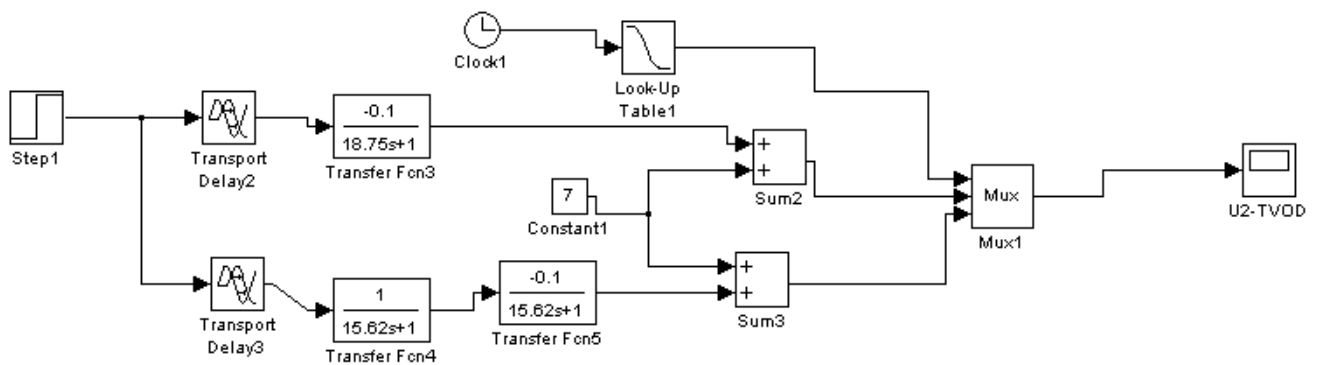


Рис. 2.21 -Схема перевірки відповідності моделей експериментальних даних в середовищі імітаційного моделювання matlab Simulink «U2-Tvod»

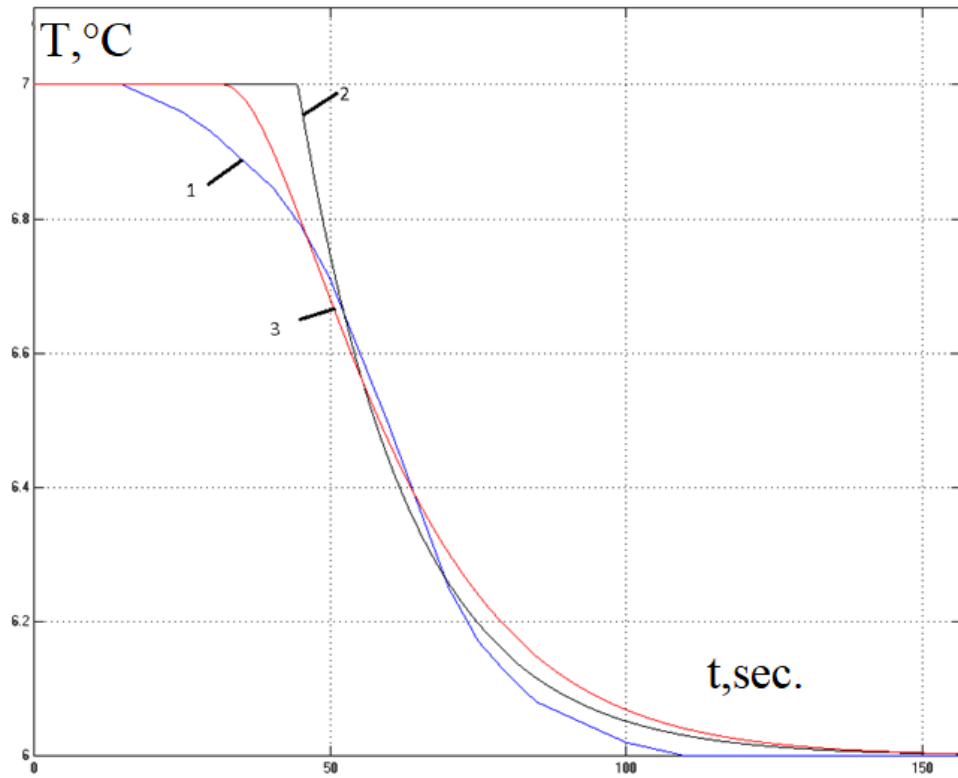


Рис.2.22—результати моделювання за каналом «U2-Tvod»

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

Канал «U1-Tgl»

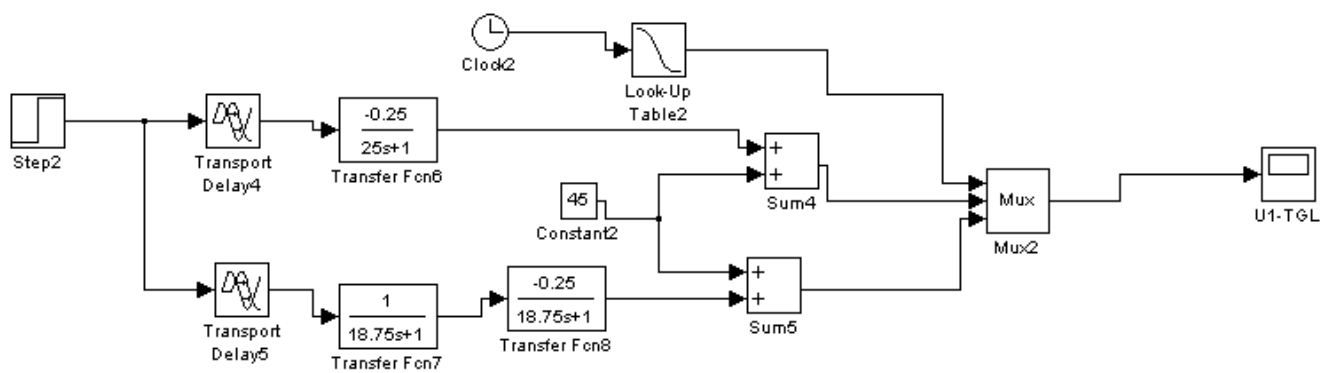


Рис 2.23 –Схема перевірки відповідності моделей експериментальних даних в середовищі імітаційного моделювання matlab Simulink «U1-Tgl»

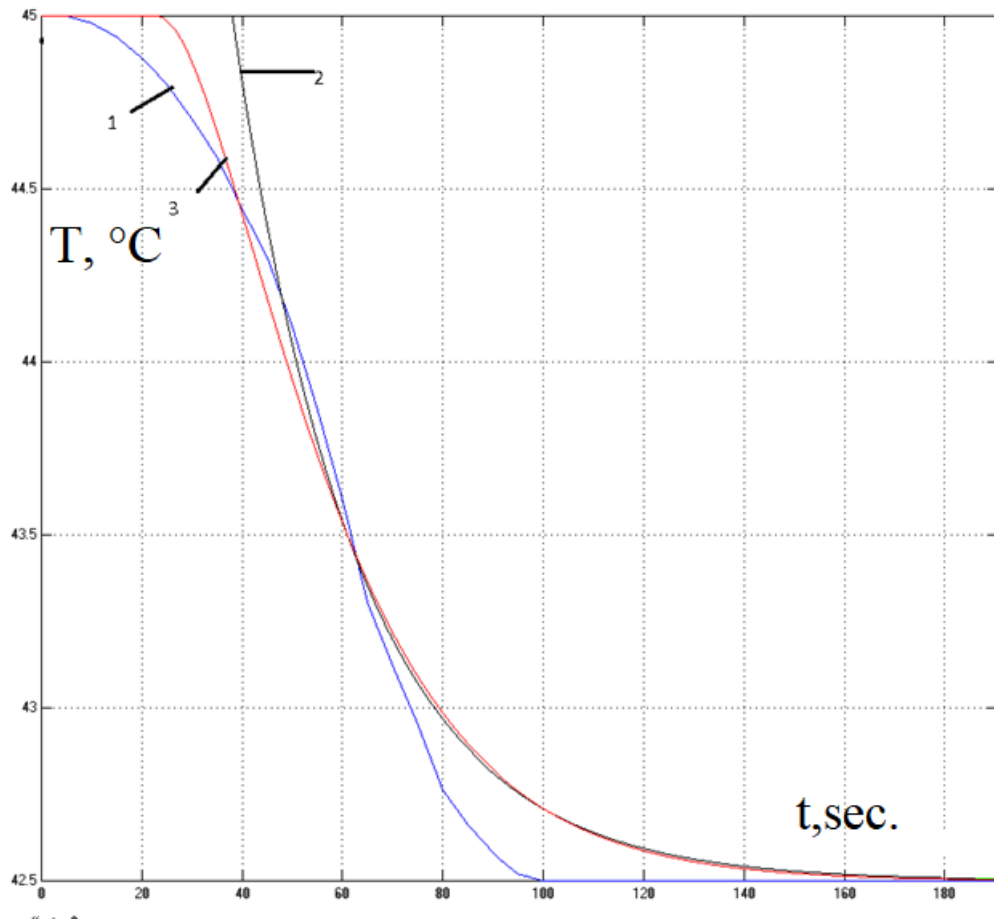


Рис2.24- результати моделювання за каналом «U1-Tgl»

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

Канал «U2-Tgl»

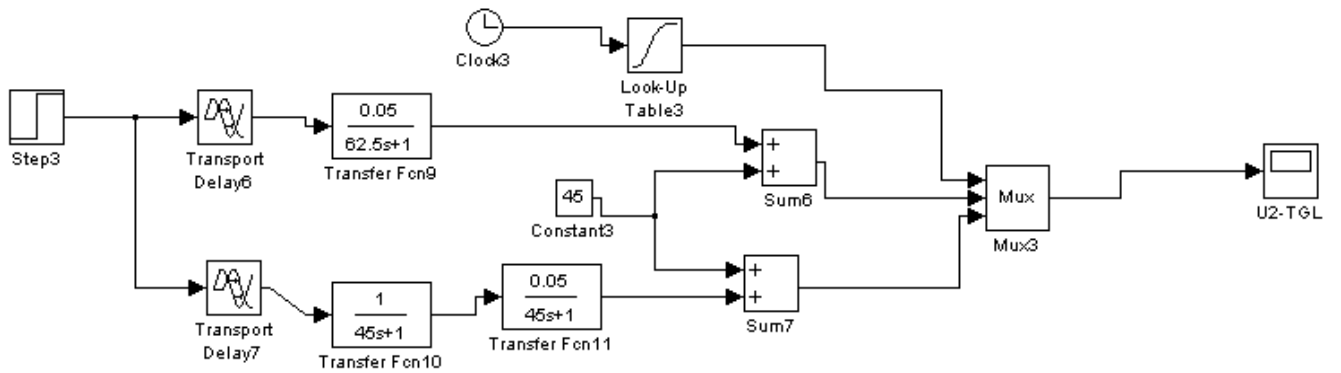


Рис.2.25 –Схема перевірки відповідності моделей експериментальних даних в середовищі імітаційного моделювання matlab Simulink «U2-Tgl»

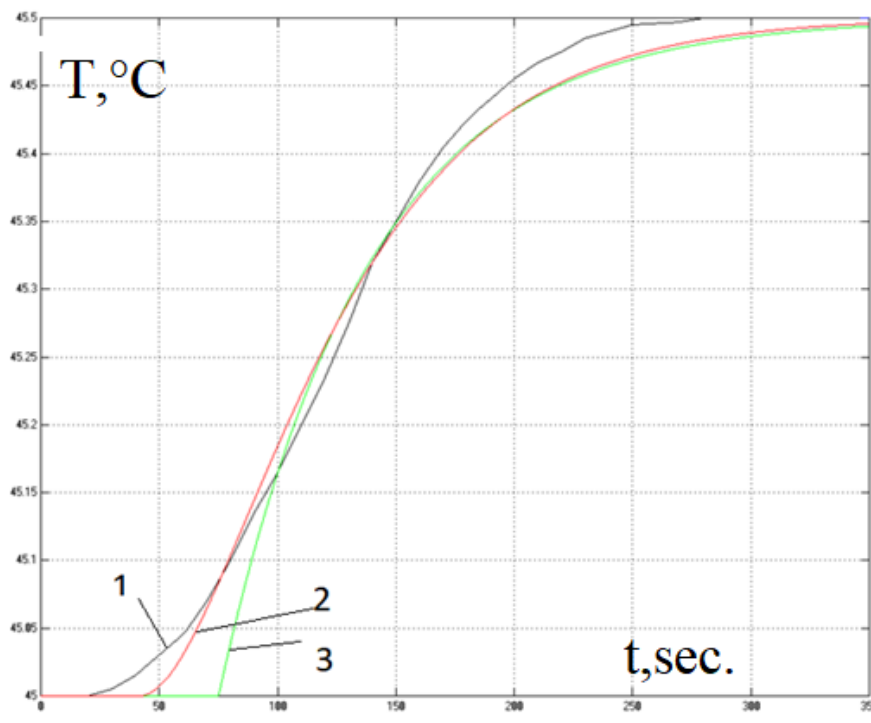


Рис. 2.26- результати моделювання за каналом «U1-Tgl»

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

Реалізуємо у вигляді схеми моделювання модель каналів ОК з урахуванням моделей стативи

$$T_{гл.} = -0.25 \cdot U_1 + 0.05 \cdot U_2 + 57$$

$$T_{вод} = -0.02 \cdot U_1 + (-0.1) \cdot U_2 + 14.2$$

Провести порівняльний аналіз результатів моделювання та експериментальних даних.

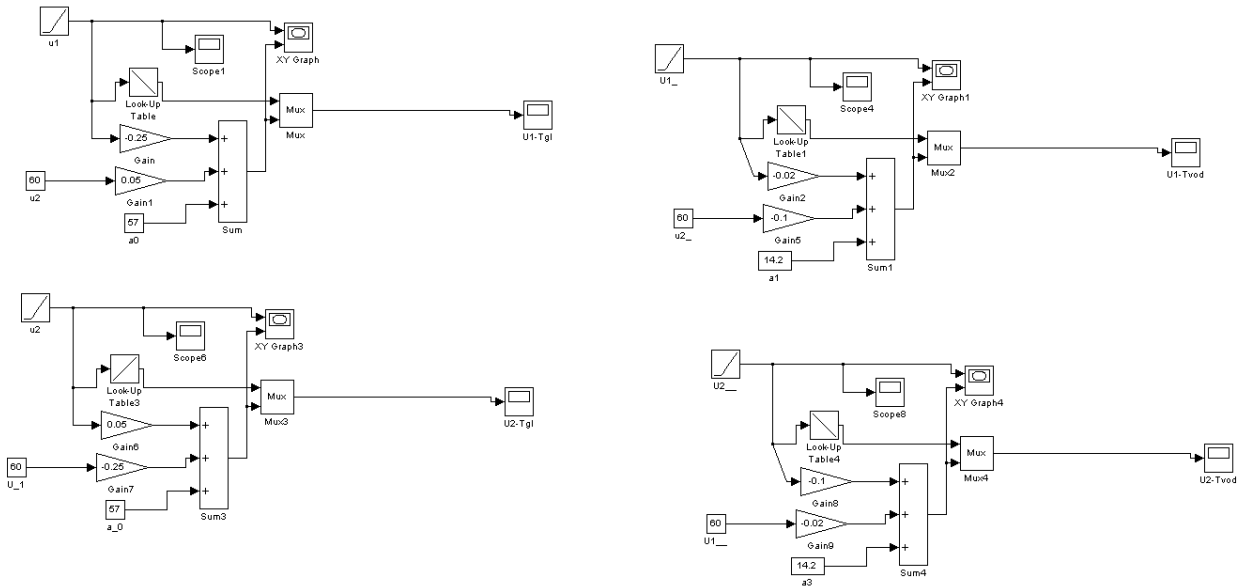


Рис.2.27 Схема порівняльного аналізу результатів моделювання в імітаційному середовищі matlab Simulink

Відтворимо повну модель динаміки каналів ОК проведемо моделювання і перевіримо відповідність їх експериментальним даним

Нижче наведено результати моделювання за каналом U1-Tgl U2-Tgl U1-Tvod U2-Tvod на рисунку 2.13

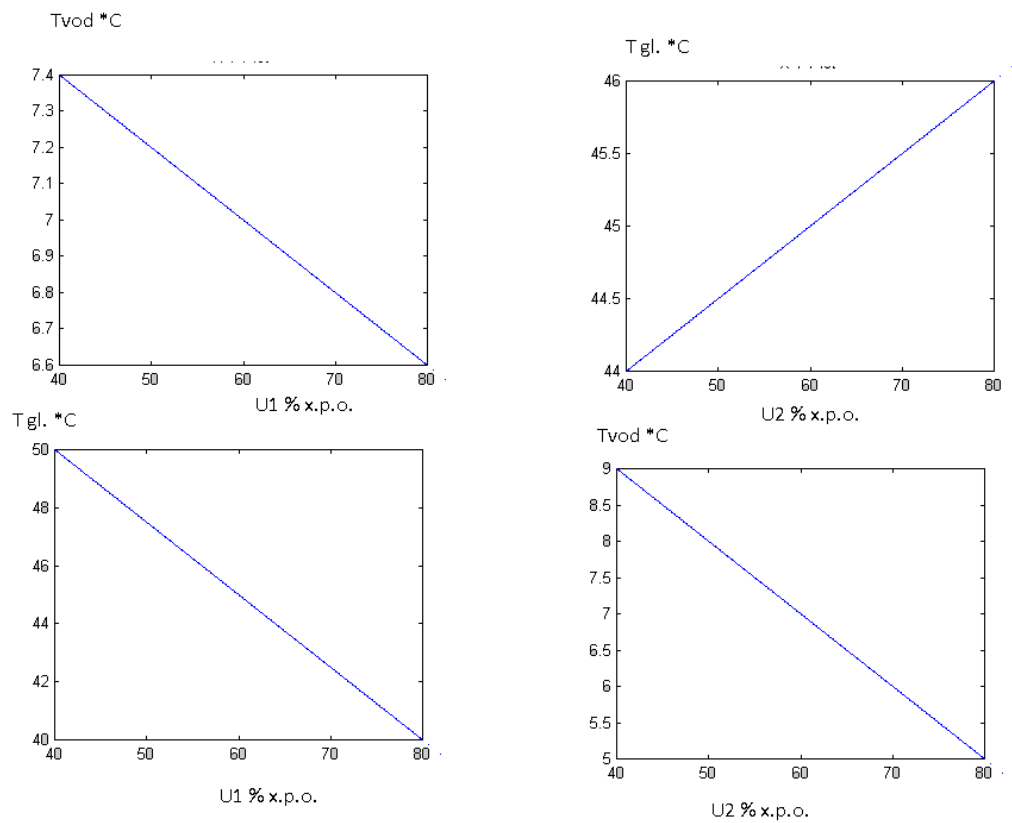


Рис.2.28– результати моделювання за каналом «U1-Tgl» «U2-Tgl» «U1-Tvod» «U2-Tvod»

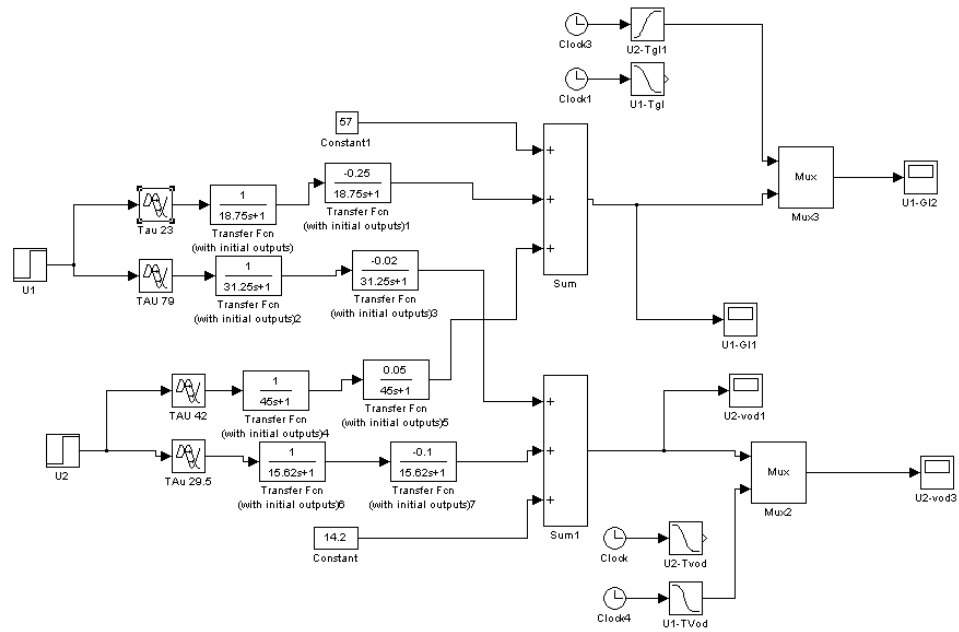


Рис.2.29–Схеми моделювання повної моделі каналів ОК

Налаштовуємо модель в абсолютних значеннях

Проводимо комп'ютерні експерименти порівняння експериментальних даних з моделлю 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2– модель 2-го порядку з урахуванням моделей статички

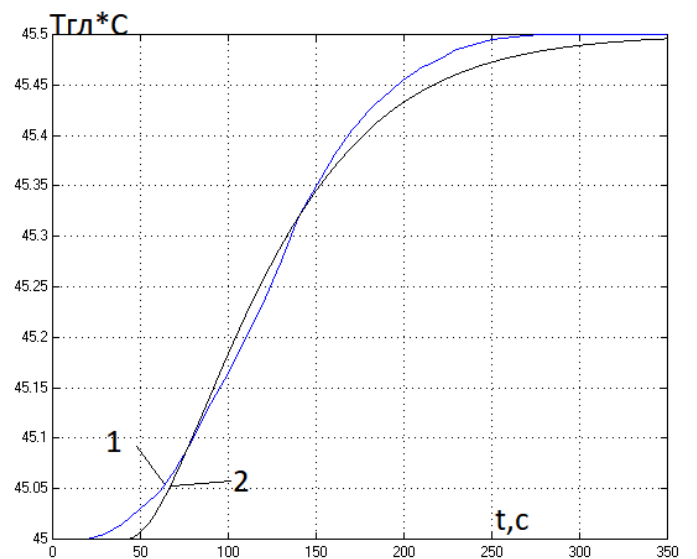
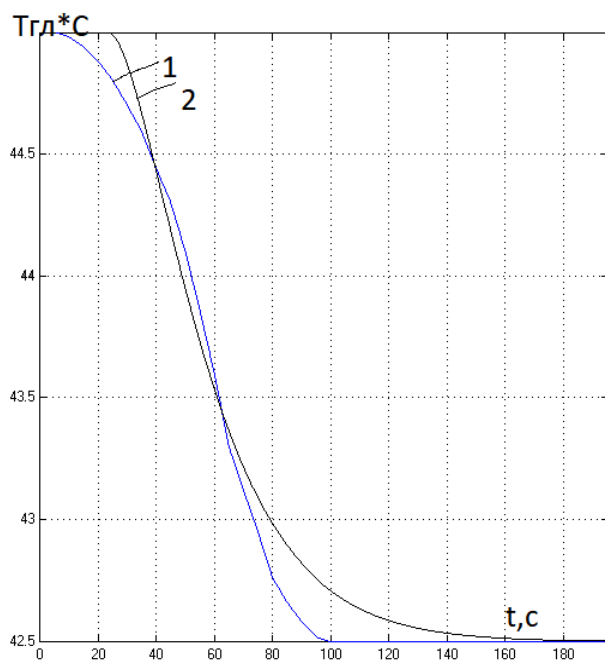


Рис.2.30- результати моделювання за каналом «U1-Tgl»

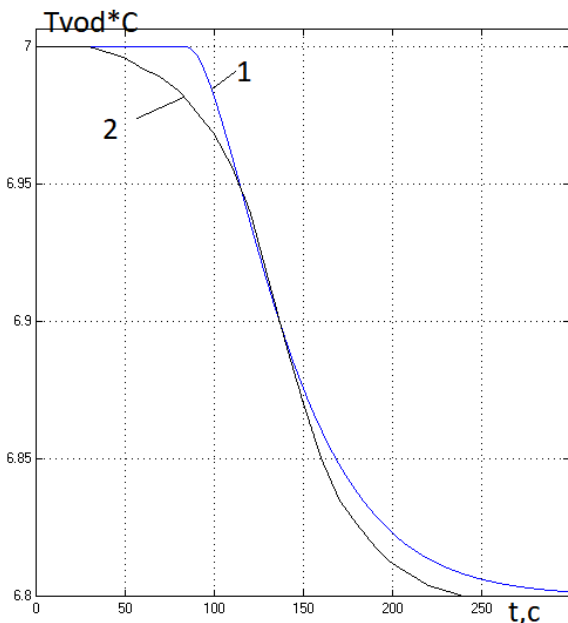


Рис.3.32– результати моделювання за каналом «U1-Tvod»

моделювання за каналом «U1-Tvod»

При виконанні даного підрозділу провели синтез імітаційні моделі каналів ОК в абсолютних значеннях. Основою імітаційною моделі склали моделі каналів ОК другого порядку та моделей статички. Порівняння кусочно лінійних апроксимацій експериментальних даних з результатами моделювання показали, що відтворення моделей каналів ОК здійснено з прийнятною точністю.

Відтворимо моделі неконтрольованих збурень як випадкових процесів Базова модель неконтрольованих збурень у відповідності до методу формуючого фільтра матиме вигляд .

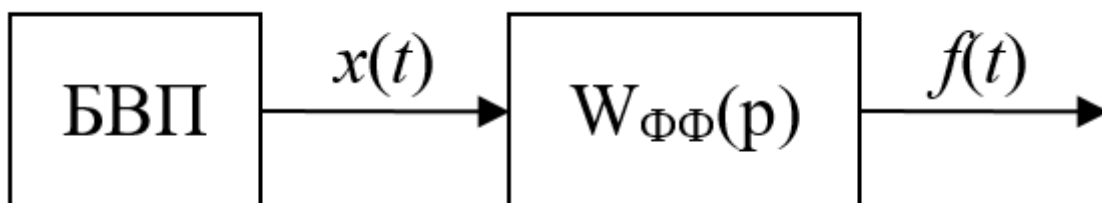


Рис.2.31– результати моделювання за каналом «U2-Tgl»

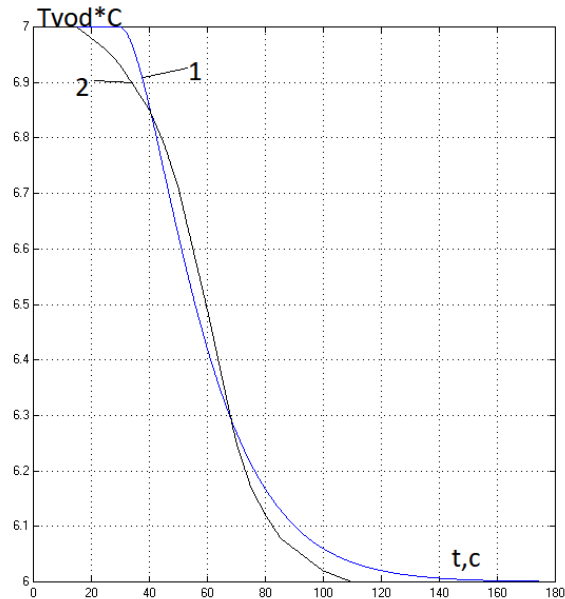


Рис2.33- результати моделювання за каналом «U2-vod»

за каналом «U2-vod»

Рис.2.34—Базова модель випадкового процесу

Для моделювання використовується метод формуючого фільтру, суть якого полягає в пропусканні базового випадкового процесу з властивостями «білого шуму» через спеціально розрахований формуючий фільтр з метою отримати параметри моделі випадкового процесу, що максимально відтворюють оціночні параметри

Розраховуємо параметри формуючого фільтра та попередні розрахунки для відтворення моделі збурення.

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

$$S_x(\omega) = \sigma_x^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta t_{\Gamma}}{3}$$

$$R_f(\tau_k) = D_f e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot (1 - \alpha|\tau_k|); \quad S_f(\omega) = \frac{D_f 4\alpha\omega^2}{(\omega^2 + \alpha^2)^2}.$$

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

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

А після заміни
$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{2\sqrt{D_f\alpha}p}{(\alpha + p)^2} = \frac{2\sqrt{D_f\alpha}p}{\alpha^2 \left(\frac{1}{\alpha}p + 1\right)^2}.$$

Далі маємо
$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{kp}{(Tp+1)^2},$$

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

$$\sigma_x = \sigma_f / 2 = 0,3195 / 2 = 0,15975$$

$$\Delta t_\Gamma = \frac{1}{(2 \dots 3)\alpha} = \frac{1}{3 \cdot 0,000975} \dots \frac{1}{2 \cdot 0,000975} = 342 \dots 513 \approx 500c$$

$$S_x(\omega) = \sigma_x^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta t_\Gamma}{3} = 0,15975^2 \cdot \frac{2 \cdot 500}{3} = 8.5$$

$$k = \frac{1}{S_x(\omega)} \cdot \frac{\sqrt{D_f \cdot \alpha}}{\alpha^2} = \frac{1}{8.5} \cdot \frac{\sqrt{0,1021 \cdot 0,000975}}{0,000975^2} = 1234.7 \quad T = 1 / \alpha = 1 / 0,000975 = 1025 c$$

$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{kp}{(Tp+1)^2},$$

$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{1234.7p}{(1025p + 1)^2}$$

Налаштування елемента Band-Limited White Noise:

$$\text{Noise power} = S_x(\omega) = 8.5;$$

$$\text{Sample time} = \Delta t_\Gamma = 500 c;$$

$$\text{Seed} = 1.$$

$$\text{Кількість точок моделювання } N = 1024$$

$$T_p = N \cdot \Delta t_\Gamma = 1024 \cdot 500 = 512\,000 c$$

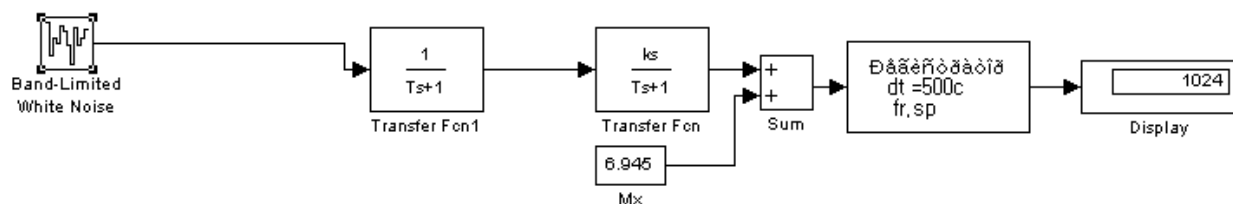


Рис.2.35- Схема моделювання стохастичної складової із розрахунковими параметрами формуючого фільтра.

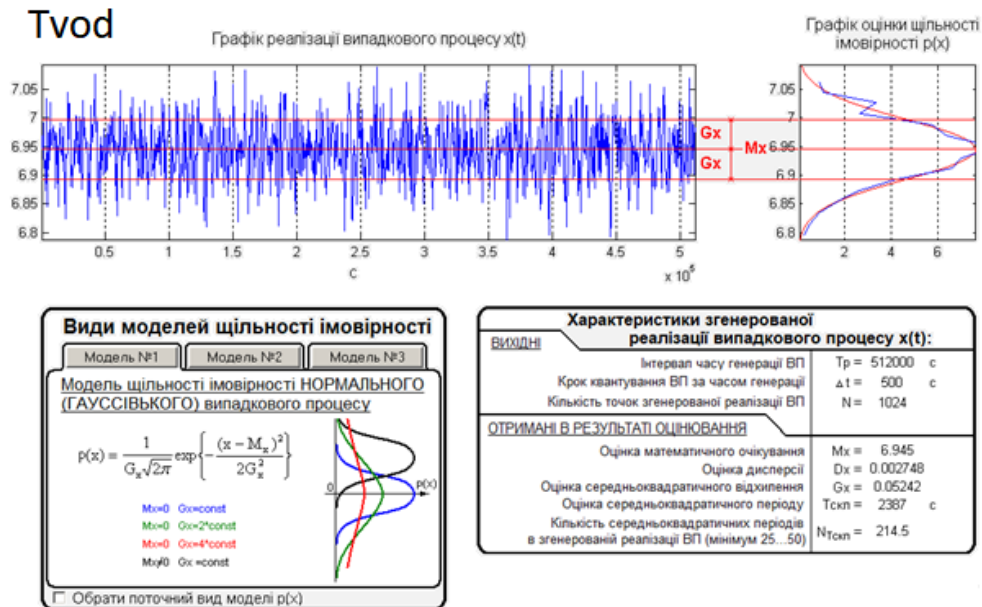


Рис 2.36–Результат моделювання неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра.

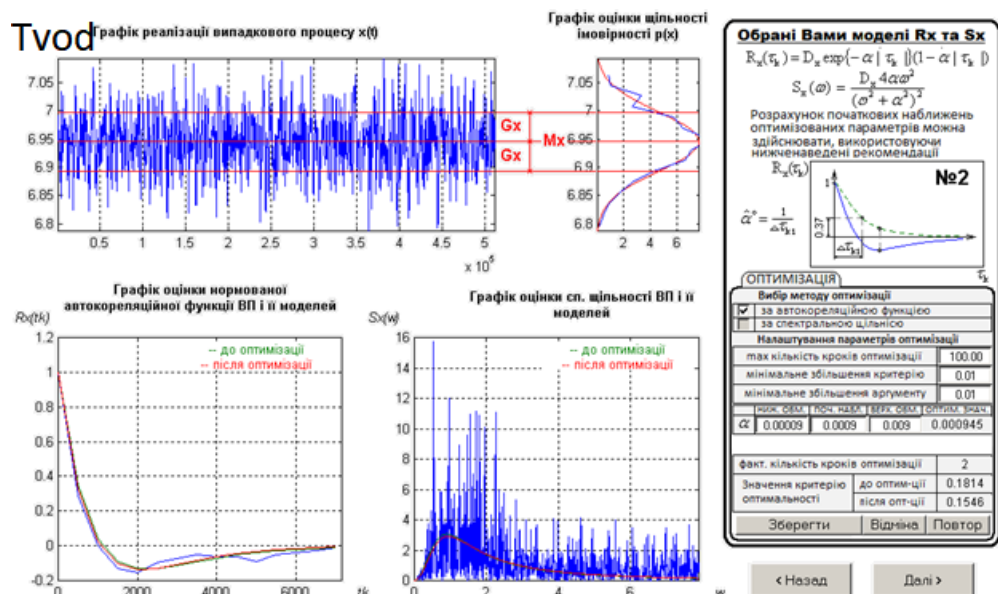


Рис.2.37– Результат моделювання неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра.

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

$$\Delta M = \frac{|M - \hat{M}|}{M} \cdot 100 = \frac{|6.945 - 6.945|}{6.945} \cdot 100 = 0\%$$

$$\Delta\sigma = \frac{|\sigma - \hat{\sigma}|}{\sigma} \cdot 100 = \frac{|0,05242 - 0,3195|}{0,05242} \cdot 100 = 509\%$$

$$\Delta\alpha = \frac{|\alpha - \hat{\alpha}|}{\alpha} \cdot 100 = \frac{|0,000945 - 0,000975|}{0,000945} \cdot 100 = 3.17\%$$

За необхідності скоригувати параметри формуючого фільтра. Навести кінцеве моделювання збурення, оцінити похибку відтворення моделі.

Похибка відтворення σ суттєво перевищує 5%, тому проведемо коригування коефіцієнту передачі формуючого фільтра:

$$k = \frac{\hat{\sigma}}{\sigma} \cdot k_{\Pi} = \frac{0,3195}{0,05242} \cdot 1234.7 = 7521.2$$

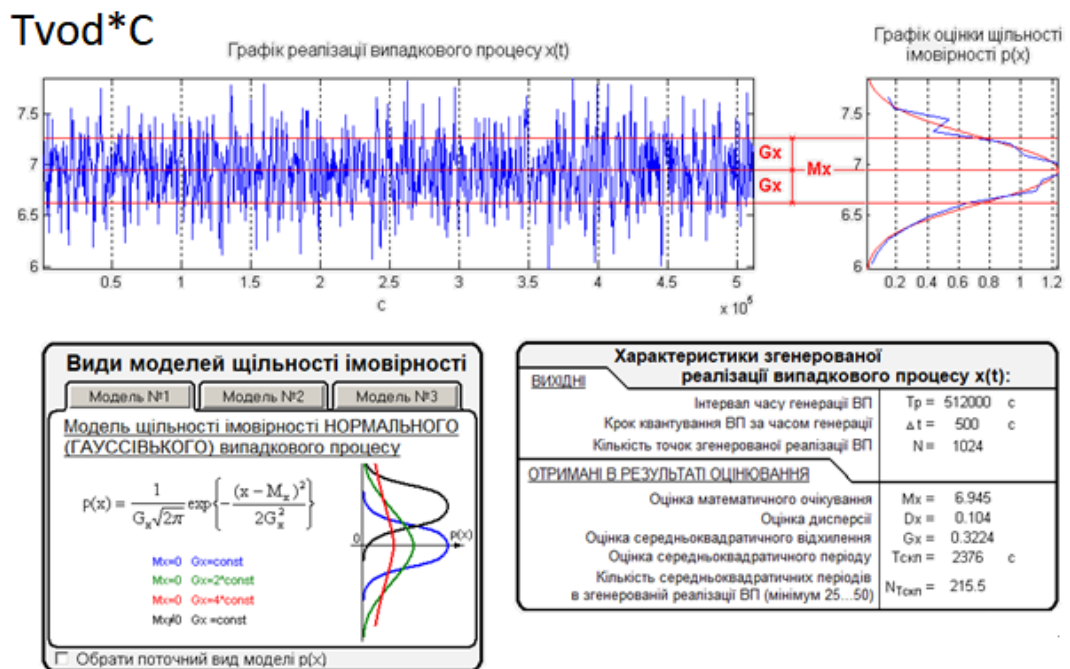


Рис.2.38–Результат моделювання неконтрольованих збурень із корегованими параметрами формуючого фільтра.

Крок 3: Параметрична ідентифікація моделей автокореляційної функції і спектральної щільності ВП

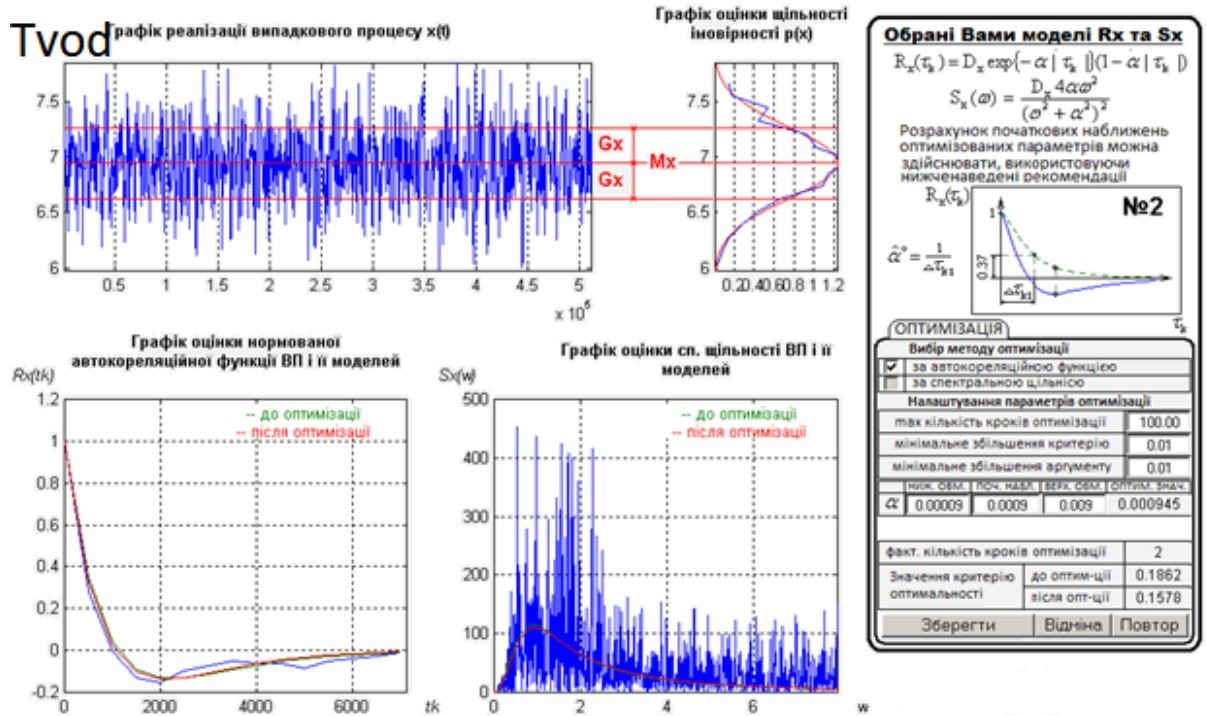


Рис.2.39–Результат моделювання неконтрольованих збурень із корегованими параметрами формуючого фільтра.

$$\Delta M = \frac{|M - \hat{M}|}{M} \cdot 100 = \frac{|6.945 - 6.945|}{6.945} \cdot 100 = 0\%$$

$$\Delta \sigma = \frac{|\sigma - \hat{\sigma}|}{\sigma} \cdot 100 = \frac{|0,3224 - 0,3195|}{0,3224} \cdot 100 = 0.8\%$$

$$\Delta \alpha = \frac{|\alpha - \hat{\alpha}|}{\alpha} \cdot 100 = \frac{|0,000945 - 0,000975|}{0,000945} \cdot 100 = 3.17\%$$

кінцеву передаточну функцію формуючого фільтра

$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{7521.2p}{(1018p + 1)^2}$$

2.5 Висновки до розділу

Висновок до розділу: в якості базової моделі відтворення неконтрольованого збурення, як випадкового процесу, прикладеного до T_{vod} , було обрано метод формуючого фільтра. За яким базовий випадковий процес з властивостями «білого шуму» пропущено через спеціально розрахований та скоригований формуючий фільтр. Як показали розрахунки, за математичним очікуванням, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнтом спаду α і коефіцієнтом коливальності похибка відтворення моделей випадкового процесу не перевищує 5%, тобто є достатнім.

Отже, було виконано структурну та параметричну ідентифікацію моделей динаміки каналів ОК та перевірено відповідності їх експериментальним даним. Виходячи з експериментальних даних, математичні моделі каналів об'єкту керування можуть бути представлені статичною аперіодичною ланкою 1-го або 2-го порядку і ланкою запізнення. Параметрична ідентифікація проводилася за методиками двох загальних точок для першого і другого порядку. Порівняння кусочно лінійних апроксимацій експериментальних даних з результатами моделювання показали, що параметрична ідентифікація математичних моделей була проведена з прийнятною точністю.

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

3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом

3.1.1 Формування задач керування технологічним агрегатом

Загальною метою керування є керування матеріальними та енергетичними потоками для отримання властивостей продукту необхідного виду і якості.

Із загальної мети керування можна виділити окремі задачі:

- підтримання вихідної змінної об'єкту керування (Т_{гп}) на її заданому значенні (Т_{вод}) - задача регулювання.
- пристосування в процесі роботи об'єкту управління до його змінних властивостей - завдача адаптації;
- забезпечення ефективних режимів роботи об'єкту керування - завдача оптимізації;
- забезпечити ввімкнення і вимкнення при пусках, зупинках, аварійних ситуаціях - завдача логічного керування.

Для якісної і економічно доцільної реалізації технологічного процесу охолодження води необхідно регулювати температуру гліколю Т_{гп} на виході з теплообмінника, та температуру води на виході з чиллера Т_{вод}.

Для завдання адаптації необхідна автоматизація пристосування в процесі роботи об'єкта управління до його змінних властивостей, заданим. Розглянутий технологічний процес є об'єктом неперервної дії. Властивості продукту істотно впливають на динамічні властивості об'єкта. Але ці властивості в процесі роботи установки на тривалому часу змінюються мало. Цю задачу можна

вирішити, змінюючи (коригуючи) настройки регуляторів в процесі роботи установки.

Для задачі оптимізації слід автоматизувати пошук оптимального протікання процесу, мінімізувати витрати енергії, брак готової продукції, збільшити продуктивність обладнання. Для процесу охолодження води цю задачу можна вирішити, підвищивши вимоги до розв'язання задачі регулювання. Головним джерелом підвищення економічної ефективності процесу охолодження води є зменшення часу на реалізацію технологічного процесу.

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

Потрібно розробити структурну схему САР базової (найпростішої структури), обрати типові алгоритми регулювання, записати критерій, за яким проводитиметься оптимальний параметричний синтез САР, зобразити регламентні зони ОК.

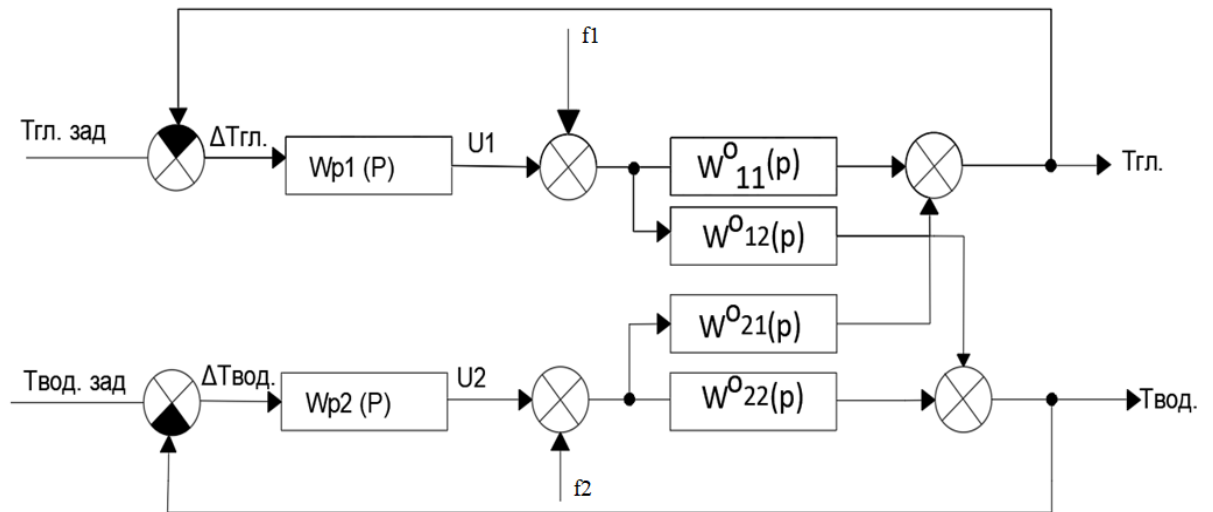


Рис.3.1–Структурна схема САР базової (найпростішої) структури

Передаточна функція ПІ-регулятора

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

Передаточна функція ПІД-регулятора

$$W_P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{I3}p} + \frac{T_{пр. p}}{0.2 T_{пр} + 1} \right)$$

$$J = \int_0^{t_M} \left[\frac{(\Delta T_{вод}(t))^2}{1} + \frac{(T_{гл}(t))^2}{2} \right] dt$$

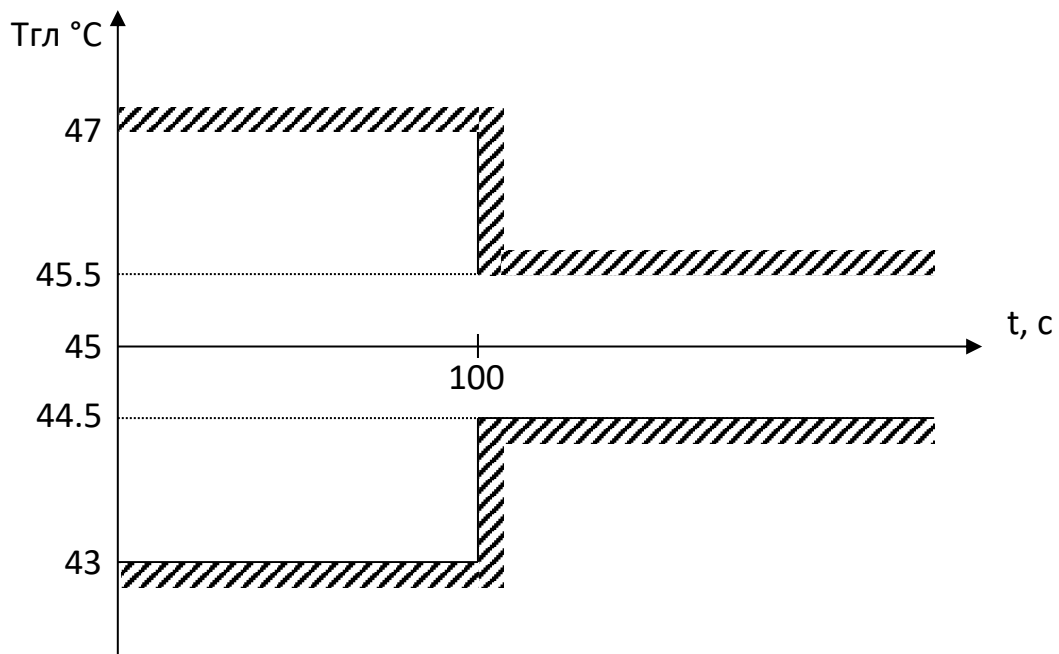


Рис.3.2 –Регламентована зона для температури гліколю

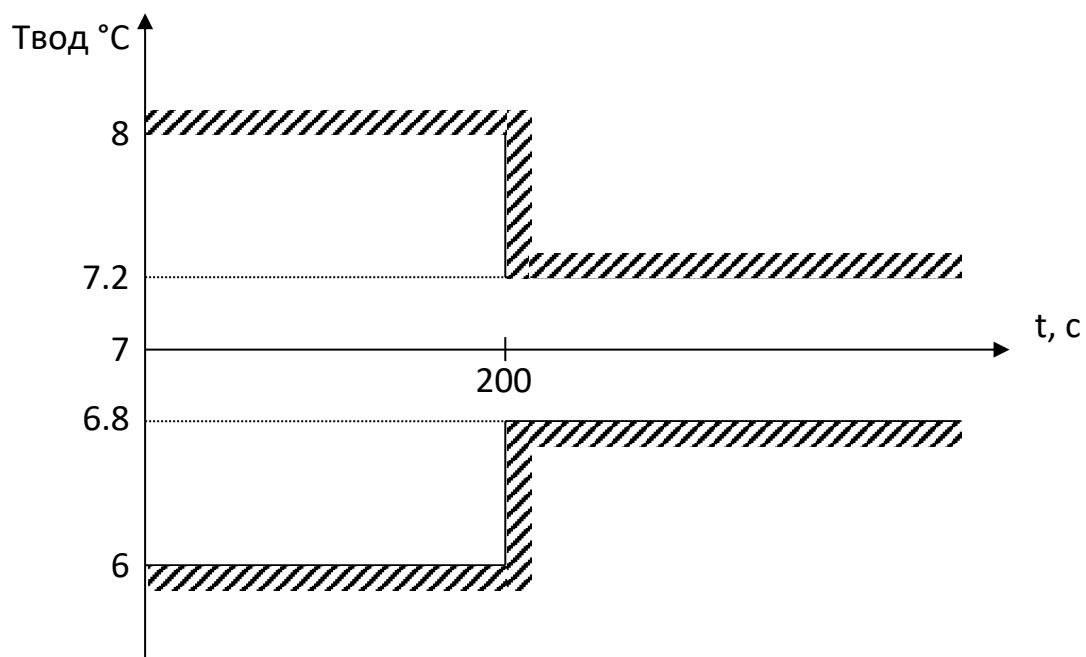


Рис.3.3– Регламентована зона для температури води

3.2. Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

3.2.1 Розрахунок початкових наближень налаштувань регуляторів.

Розрахунок налаштувань ПІ-регуляторів

Регулятор $W_{P1}(p)$

$$K_{P1} = \frac{1,1 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,1 \cdot 25}{-0,25 \cdot 38} = -2,89\% \text{х.р.о.} / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I31} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 38 = 76 \text{ с}$$

Регулятор $W_{P2}(p)$

$$K_{P2} = \frac{1,1 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,1 \cdot 18,75}{-0,1 \cdot 44,5} = -4,6\% \text{х.р.о.} / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I32} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 44,5 = 89 \text{ с}$$

Розрахунок налаштувань ПІД-регуляторів

Регулятор $W_{P1}(p)$

$$K_{P1} = \frac{1,2 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,2 \cdot 25}{-0,25 \cdot 38} = -3,15\% \text{х.р.о.} / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I31} = 1,4 \cdot \tau_O = 1,4 \cdot 38 = 53,2 \text{ с}$$

$$T_{УП1} = 1,0 \cdot \tau_O = 1,0 \cdot 38 = 38 \text{ с}$$

Регулятор $W_{P2}(p)$

$$K_{P2} = \frac{1,2 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,2 \cdot 18,75}{-0,1 \cdot 44,5} = -5\% \text{х.р.о.} / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I32} = 1,4 \cdot \tau_O = 1,4 \cdot 44,5 = 62,3 \text{ с}$$

$$T_{УП2} = 1,0 \cdot \tau_O = 1,0 \cdot 44,5 = 44,5 \text{ с}$$

3.2.2 Проводимо розробку та налаштування схеми моделювання САР з ПІ- та ПІД-регуляторами.

Проводимо розробку та налаштування схеми моделювання САР з ПІ- та ПІД-регуляторами.

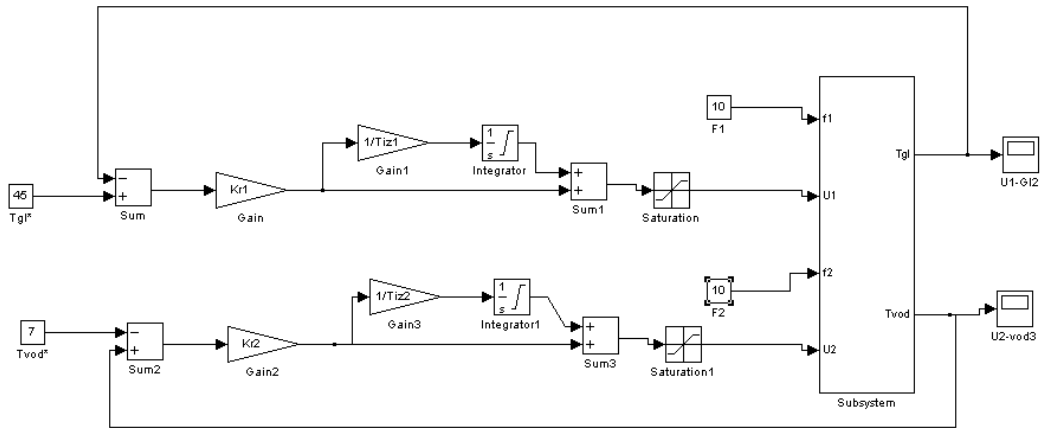


Рис.3.4 – Структурна схема моделювання одноканальної САР з ПІ-регулятором

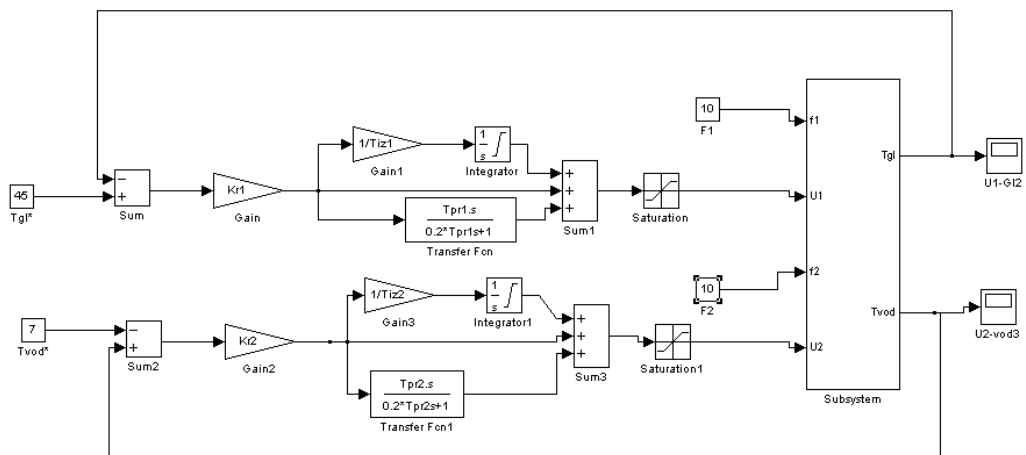


Рис. 3.5– Структурна схема моделювання одноканальної САР з ПІД-регулятором

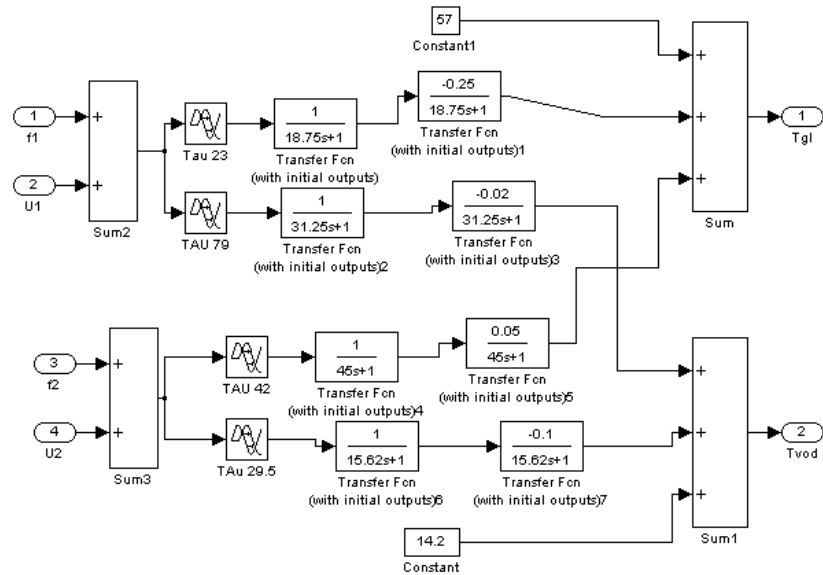


Рис.3.6 – Структурна схема моделювання ОК

Розробка структурної схеми САР і проведення оптимального параметричного синтезу САР з ПІ- та ПІД-регуляторами.

Для оптимального параметричного синтезу САР з ПІ-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.6

Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рис. 3.8

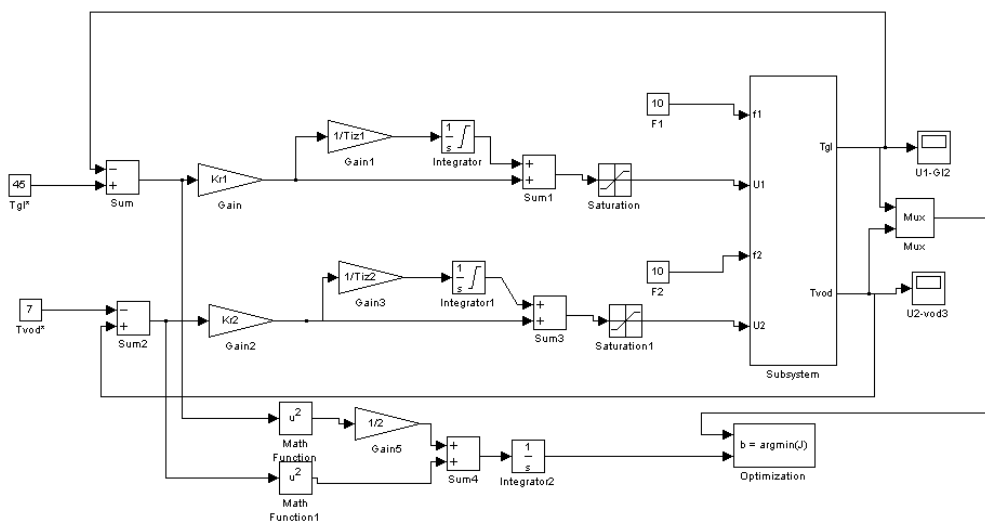
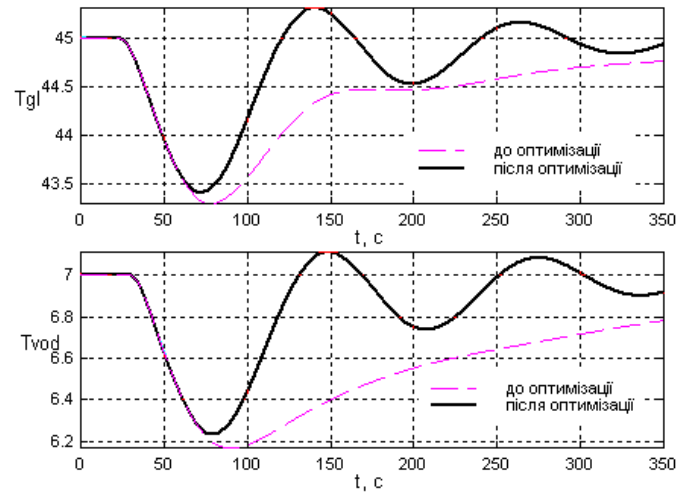


Рис. 3.7 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІ-регулятора



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	-5.0733	-30	-2.89	0	до - 187.441
Tiz1	51.8553	1	76	200	після - 88.0979
Kr2	-12.8233	-30	-4.6	0	оптимізації.
Tiz2	72.0059	1	89	200	Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1000
					фактична - 257

Рис. 3.8 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора

Для оптимального параметричного синтезу САР з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.5.

Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рис. 3.8

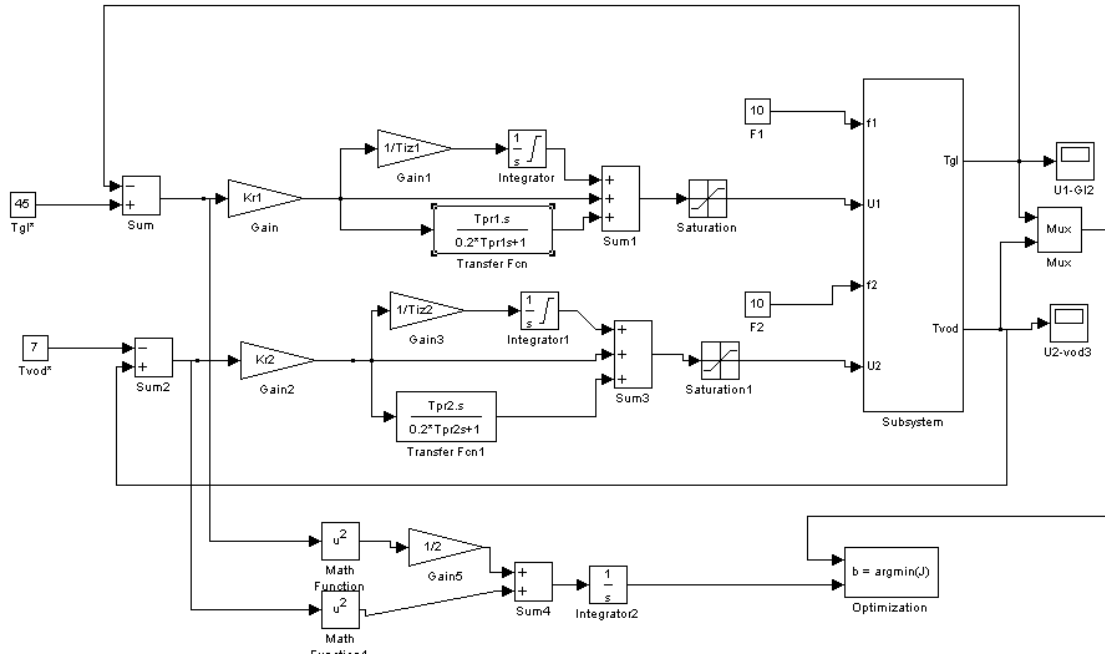
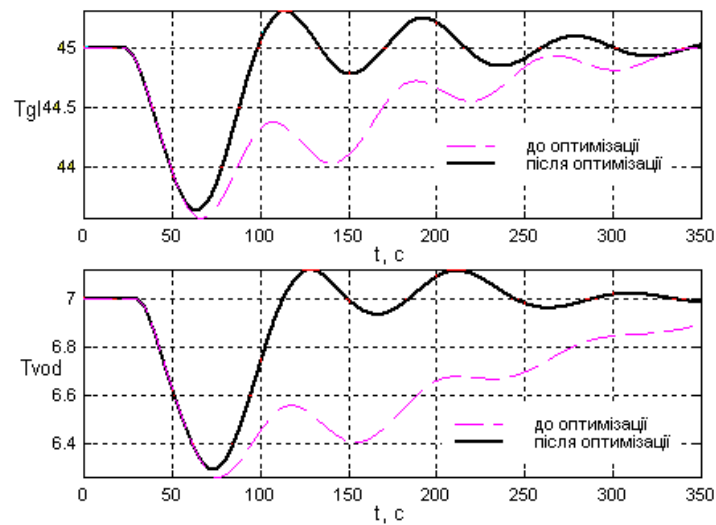


Рис. 3.9- Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регулятора



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	-5.8445	-30	-3.15	0	до - 121.8558
Tiz1	29.3827	1	53.2	200	після - 50.4334
Trp1	17.7885	0	38	300	оптимізації.
Kr2	-11.703	-30	-5	0	Кількість кроків процедури оптимізації:
Tiz2	32.7484	1	62.5	200	максимальна - 1000
Trp2	17.3813	0	44.5	300	фактична - 461

Рис. 3.10 – Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора

Проводимо порівняльний аналіз САР з ПІ-регуляторами до і після оптимізації.

Таблиця 3.1 - Результати порівняння САР з ПІ-регуляторами до і після оптимізації

САР з ПІ-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{gl}^{\text{МАКС}}$, °С	$T_{\text{пш1}}$, с	$\Delta T_{\text{vod}}^{\text{МАКС}}$, °С	$T_{\text{пш2}}$, с	
до оптимізації	1.7	222	0.8	368	187
після оптимізації	1.6	107.5	0.77	225	88

Проводимо порівняльний аналіз САР з ПІД-регуляторами до і після оптимізації.

Таблиця 3.2 - Результати порівняння САР з ПІД-регуляторами до і після оптимізації

САР з ПІД-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{gl}^{\text{МАКС}}$, °С	$T_{\text{пш1}}$, с	$\Delta T_{\text{vod}}^{\text{МАКС}}$, °С	$T_{\text{пш2}}$, с	
до оптимізації	1.44	169	0.75	277	121
після оптимізації	1.37	88	0.7	103	50.4

Проводимо порівняльний аналіз САР з ПІ- і ПІД-регуляторами

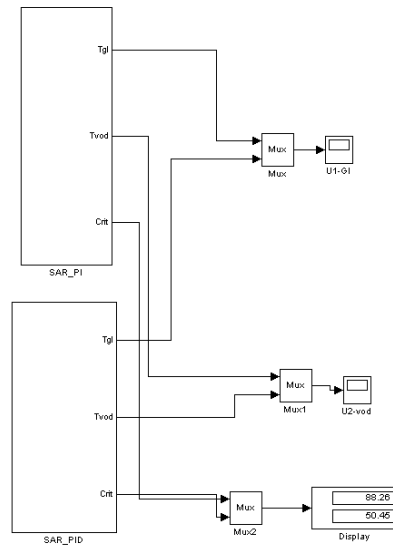


Рис. 3.11 - Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів CAP

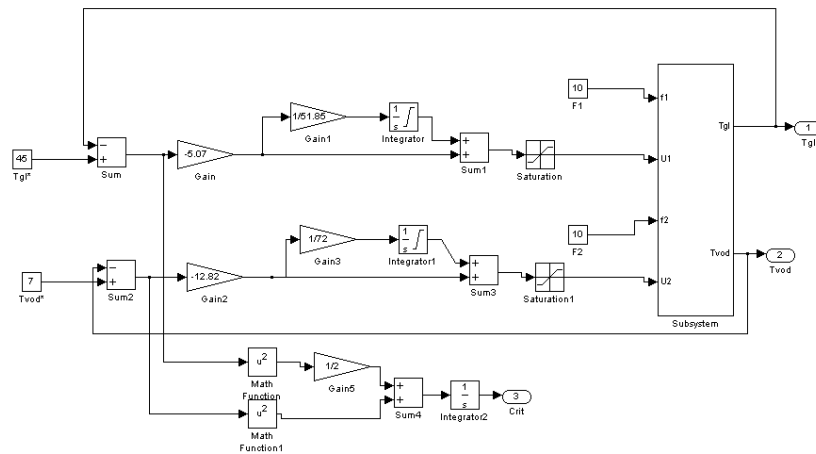


Рис. 3.12– Структурна схема моделювання CAP з ПІ-регулятором

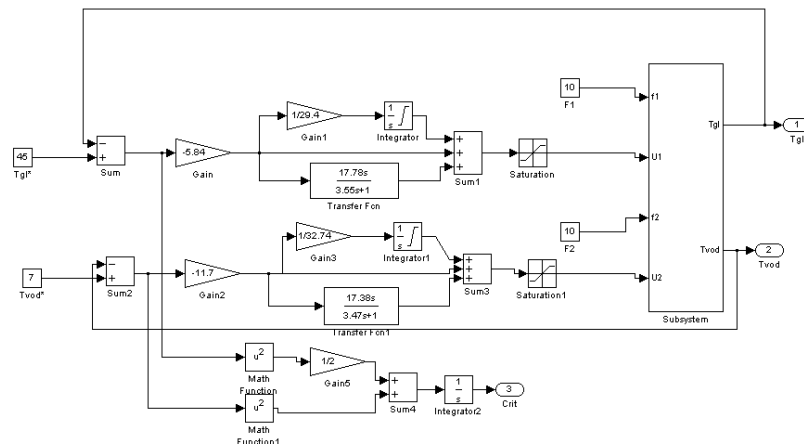


Рис. 3.13– Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором

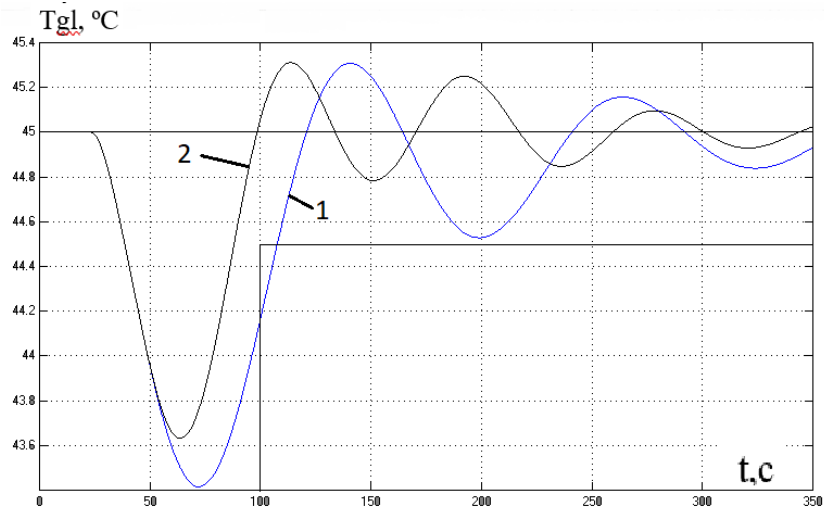


Рис. 3.14 Результати порівняння САР з ПІ- та ПІД-регуляторами:
1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором

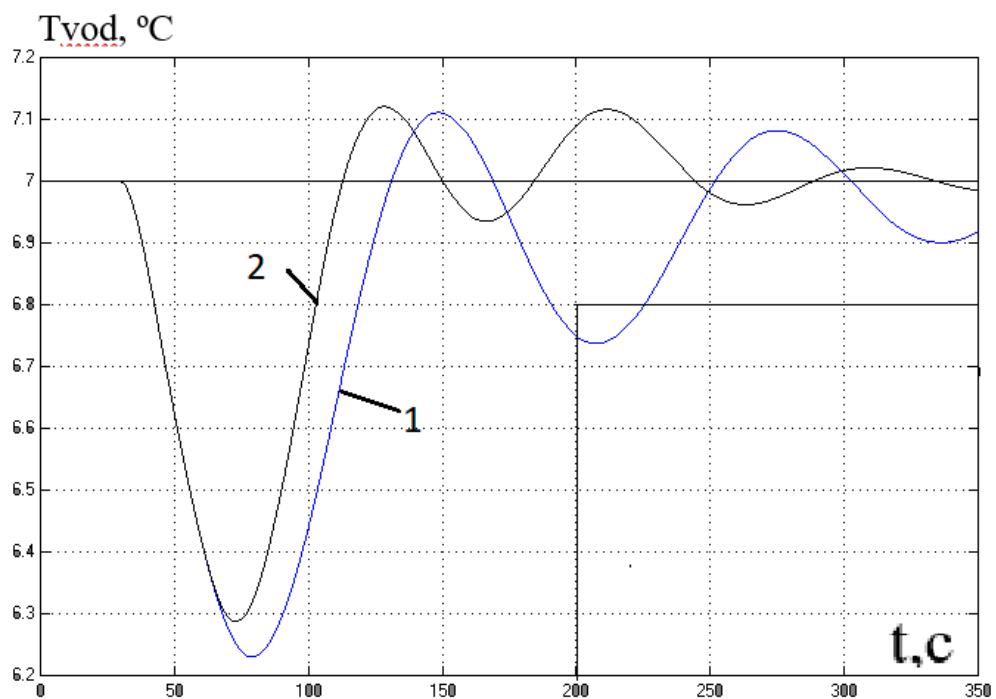


Рис. 3.15 Результати порівняння САР з ПІ- та ПІД-регуляторами: 1 –
САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором

Таблиця 3.3 – Результати порівняння варіантів САР

САР	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{gl}^{МАКС}$, °С	$T_{пп1}$, с	$\Delta T_{vod}^{МАКС}$, °С	$T_{пп2}$, с	
ПІ	1.6	107.5	0.77	225	88.25
ПІД	1.37	88	0.7	103	50.45

Робимо висновок за результатами роботи в даному підрозділі.

1.САР з ПІ-регулятором відповідає гранично припустимим вимогам по T_{gl} , T_{vod} та не за відповідає часом перехідного процесу

САР з ПІД-регулятором по T_{gl} , T_{vod} відповідає гранично припустимим вимогам

2.Для ПІ-регуляторів коефіцієнт передачі K_{P1} зменшився на 75.5 %, час ізодрому T_{I31} зменшився на 31.8%, коефіцієнт передачі K_{P2} збільшився на 179%, час ізодрому T_{I32} зменшився на 19.1% , максимальне динамічне відхилення $\Delta T_{gl}^{МАКС}$ зменшилося на 6.25%, час перехідного процесу за T_{gl} зменшився на 106%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T_{vod}^{МАКС}$ зменшилося на 4%, час перехідного процесу за T_{vod} зменшився на -62%, інтегральний показник якості зменшився на = 112%.

Для ПІД-регуляторів коефіцієнт передачі K_{P1} зменшився на 85%, час ізодрому T_{I31} зменшився на 76%, час випередження зменшився на 113% коефіцієнт передачі K_{P2} зменшився на 134%, час ізодрому T_{I32} зменшився на 91% час випередження зменшився на 156%. Максимальне динамічне відхилення $\Delta T_{gl}^{МАКС}$ зменшилося на 5.1%, час перехідного процесу за T_{gl} зменшився на 92%, максимальне динамічне

відхилення $\Delta T_{\text{vod}}^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 7%, час перехідного процесу за T_{vod} зменшився на 102%, інтегральний показник якості зменшився на $\approx 142\%$.

3. Оскільки САР з налаштуваннями регуляторів за інженерними методиками дають перехідні процеси, що сходяться, то їх можна використовувати на практиці за умови не занадто короткого часу перехідного процесу. Але такі САР потребують оптимального параметричного синтезу.

4. В результаті введення до регулятора Д-складової САР за T_{gl} T_{vod} почала відповідати часу перехідного процесу. Максимальне динамічне відхилення $\Delta T_{\text{gl}}^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 15%; час перехідного процесу за T_{gl} зменшився на 19%; Максимальне динамічне відхилення $\Delta T_{\text{vod}}^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 9%; час перехідного процесу за T_{vod} зменшився на 54.22%, інтегральний показник якості зменшився на 43%.

3.2.3 - з використанням розроблених раніше моделей параметричних збурень проводимо машинні експерименти з перевірки САР на грубість

Скоригуємо схеми моделювання САР з ПІ- та ПІД-регуляторами, щоб провести аналіз означених САР на грубість. Зробити висновки про грубість САР.

Дослідження САР на грубість будемо проводити в умовах варіації часів запізнення в каналах ОК на 20%.

Проведемо аналіз САР з ПІ- та ПІД-регуляторами на грубість. Результати перевірки наведено на рис. 6.15 та 6.16

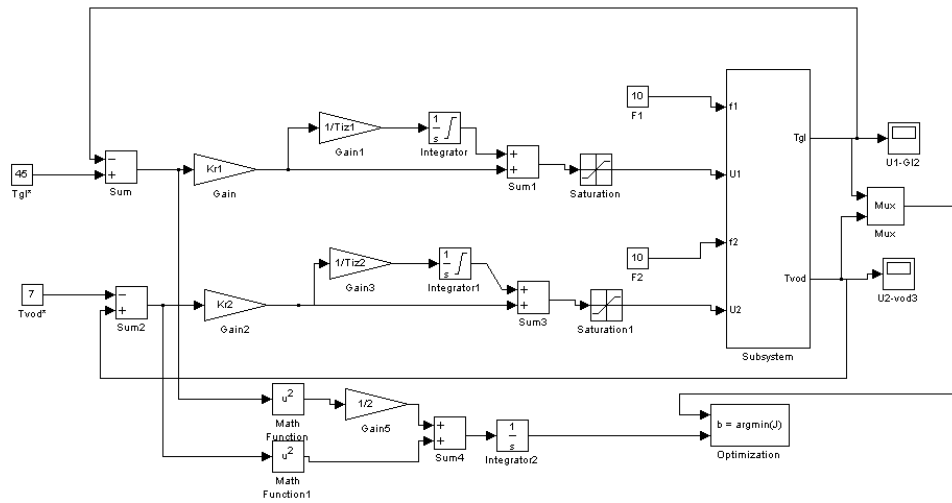


Рис. 3.16 - Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІ-регулятором на грубість

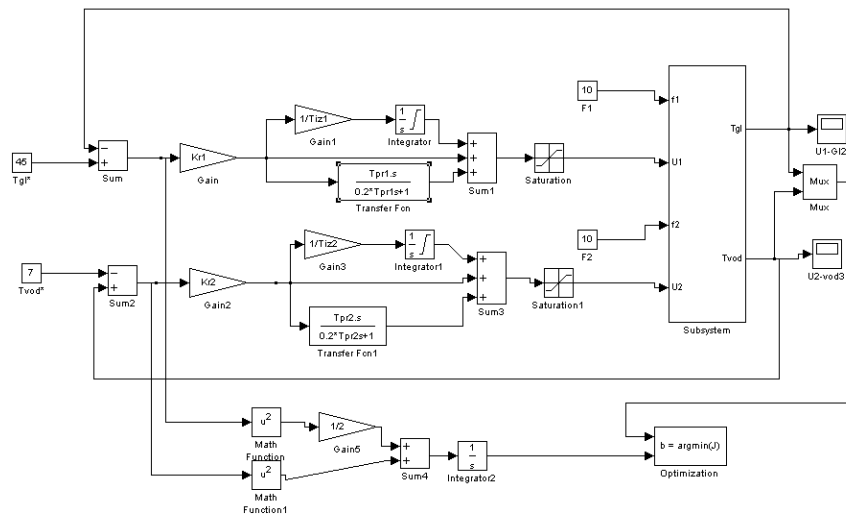


Рис. 3.17 - Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІД-регулятором на грубість

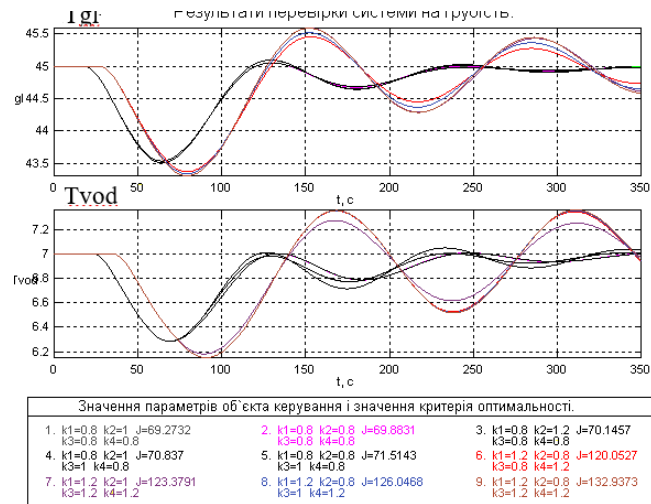


Рис. 3.18 – Результати перевірки на грубість САР з ПІ-регуляторами

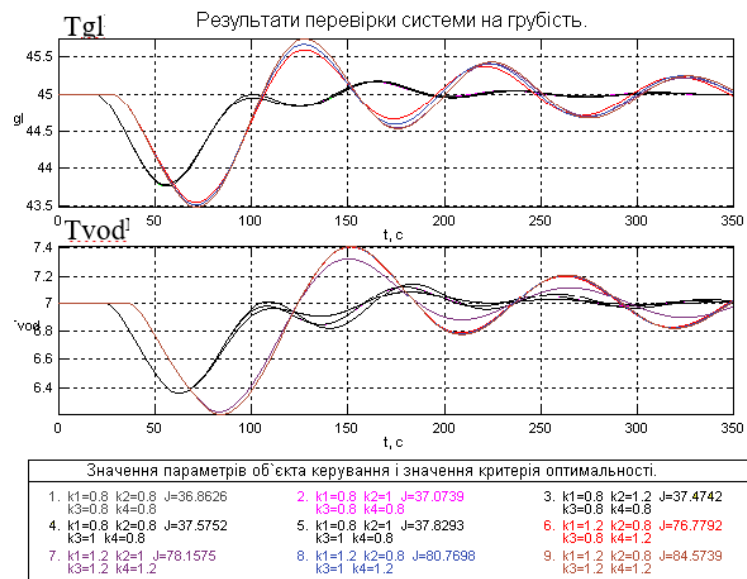


Рис. 3.19– Результати перевірки на грубість САР з ПІД-регуляторами

САР з ПІ- та ПІД-регуляторами є грубою.

Так як САР виявилася грубою, то провести оптимальний параметричний синтез САР при найнесприятливішій для керування варіації параметрів ОК не потрібно.

Проведемо порівняльний аналіз САР при номінальних параметрах ОК, при параметрах ОК, «найсприятливіших» та «найнесприятливіших» для керування.

«Найсприятливішою» для керування є САР з ПІ-регулятором з часами запізнення в каналах ОК, меншими на 20% від номінальних значень, за винятком перехресного каналу k_{21} , який дорівнює ном. знач.

«Найнесприятливішою» для керування є САР з ПІ-регулятором з часами запізнення в прямих каналах ОК, на 20% більших від номінальних значень, і в перехресному каналі k_{21} ОК на 20% меншим від номінального а в каналу k_{31} на 20% більших від номінальних значень.

«Найсприятливішою» для керування є САР з ПІД-регулятором з часами запізнення в каналах ОК, меншими на 20% від номінальних значень.

«Найнесприятливішою» для керування є САР з ПІД-регулятором з часами запізнення в прямих каналах ОК, на 20% більших від номінальних значень, і в перехресних каналах k_{21} ОК на 20% меншим від номінального а в каналу k_{31} на 20% більших від номінальних значень.

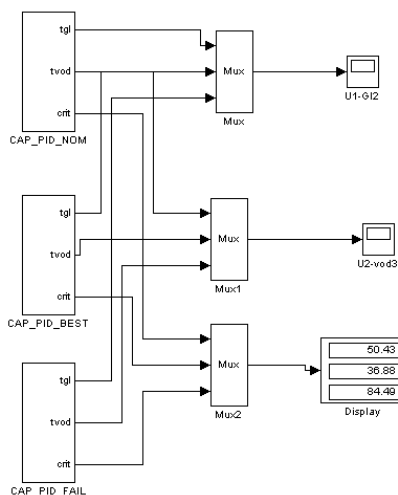


Рис. 3.20 – Схема моделювання САР базової структури з ПІ-регулятором для порівняння варіантів з номінальним для керування параметрами ОК

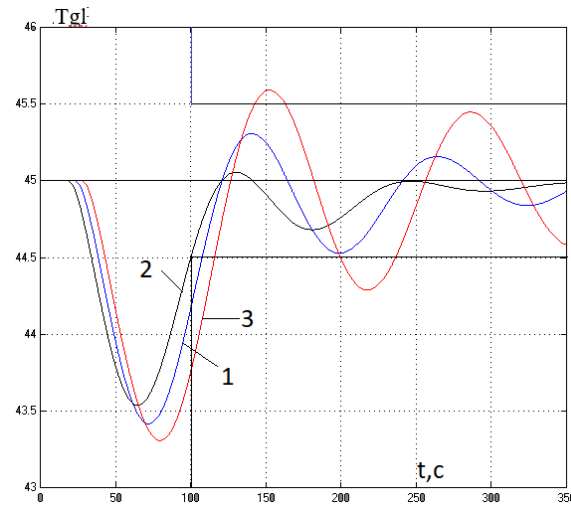


Рис. 3.21 Порівняльний аналіз САР з ПІ-регуляторами . 1 – номінальні значення. 2 – найсприятливіші значення. 3 – найнесприятливіші значення.

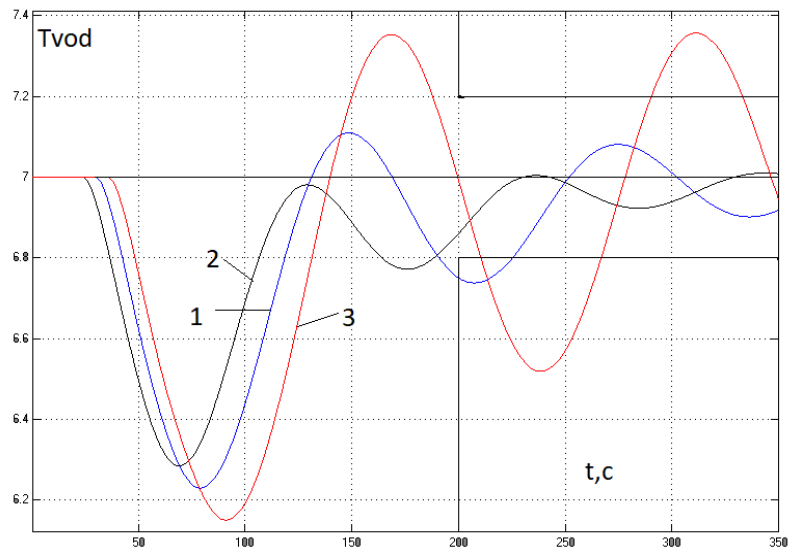


Рис. 3.22 Порівняльний аналіз САР з ПІ-регуляторами . 1 – номінальні значення. 2 – найсприятливіші значення. 3 – найнесприятливіші значення.

Таблиця 3.4 - Порівняльний аналіз САР з ПІ-регуляторами

Варіант САР	Прямі показники якості	Критерій
-------------	------------------------	----------

(параметри ОК)	$\Delta T_{гг}^{МАКС}$, °C	$T_{пп1}$, с	$\Delta T_{вод}^{МАКС}$, °C	$T_{пп2}$, с	
номінальні	1.6	107.5	0.77	225	88.25
«насприятливіші»	1.47	100	0.72	188.6	69.3
«найнесприятливіші»	1.7	116	0.85	> 1000	132.8

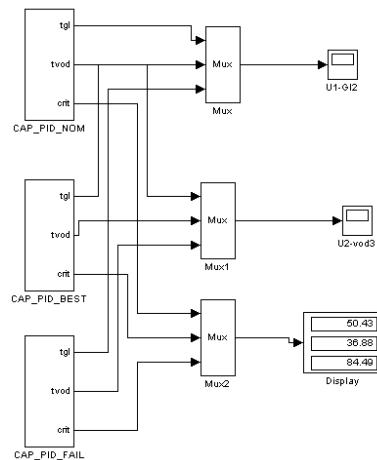


Рис. 3.23 – Схема моделювання САР базової структури з ПІД-регулятором для порівняння варіантів з номінальними, "насприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування параметрами ОК

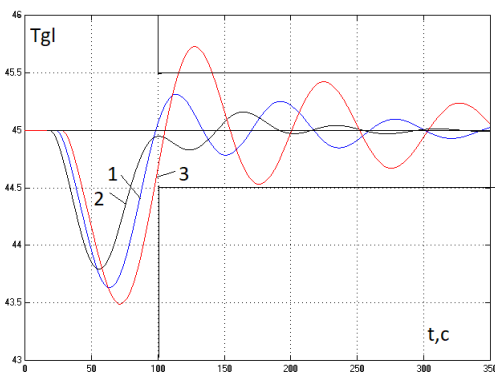


Рис. 3.24 Порівняльний аналіз САР з ПІД-регуляторами . 1 – номінальні значення. 2 – насприятливіші значення. 3 – найнесприятливіші значення

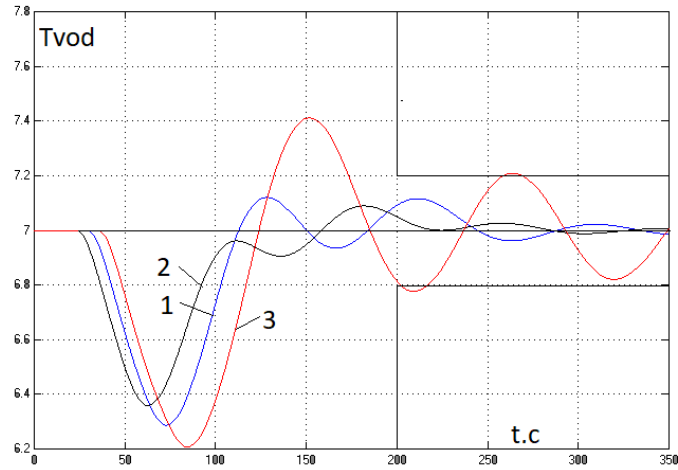


Рис. 3.25 Порівняльний аналіз САР з ПІД-регуляторами (Θ зв1). 1 – номінальні значення. 2 – найсприятливіші значення. 3 – найнесприятливіші значення

Таблиця 3.5 - Порівняльний аналіз САР з ПІД-регуляторами

Варіант САР (параметри ОК)	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{ГЛ}^{МАКС}$, °C	$T_{ПП1}$, с	$\Delta T_{ВОД}^{МАКС}$, °C	$T_{ПП2}$, с	
номінальні	1.37	88	0.7	103	50.4
«насприятливіші»	1.21	79.28	0.64	92	36.8
«найнесприятливіші»	1.51	96.5	0.8	269	84.49

За результатами попереднього аналізу робимо висновки.

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

2. Для САР з ПІ-регуляторами різниця між «найсприятливішими» та «найнесприятливішими» для керування параметрами ОК за максимальним динамічним відхиленням $\Delta T_{\text{ГЛ}}^{\text{МАКС}}$ складає 14%; за часом перехідного процесу $T_{\text{ГЛ}}$ 14%, за максимальним динамічним відхиленням $\Delta T_{\text{вод}}^{\text{МАКС}}$ складає 15%; за часом перехідного процесу $T_{\text{вод}} > 80\%$, за критерієм 48%.

Для САР з ПІД-регуляторами різниця між «найсприятливішими» та «найнесприятливішими» для керування параметрами ОК за максимальним динамічним відхиленням $\Delta T_{\text{ГЛ}}^{\text{МАКС}}$ складає 20%; за часом перехідного процесу $T_{\text{ГЛ}}$ 18%, за максимальним динамічним відхиленням $\Delta T_{\text{вод}}^{\text{МАКС}}$ складає 20%; за часом перехідного процесу $T_{\text{вод}} 65\%$, за критерієм 56%.

Оскільки за більшістю показників різниця між «найсприятливішими» та «найнесприятливішими» умовами керування для САР з ПІ-регуляторами є меншою, то САР з ПІ-регуляторами є «грубішою», а САР з ПІД-регуляторами – «чутливішою».

Аналіз сталих процесів у САР при стохастичних вхідних діях

Скоригуємо імітаційні моделі САР з ПІ- та ПІД-регуляторами для проведення аналізу САР на грубість в сталих процесах з параметрами ОК номінальними, «найсприятливіших» та «найнесприятливіших» для керування.

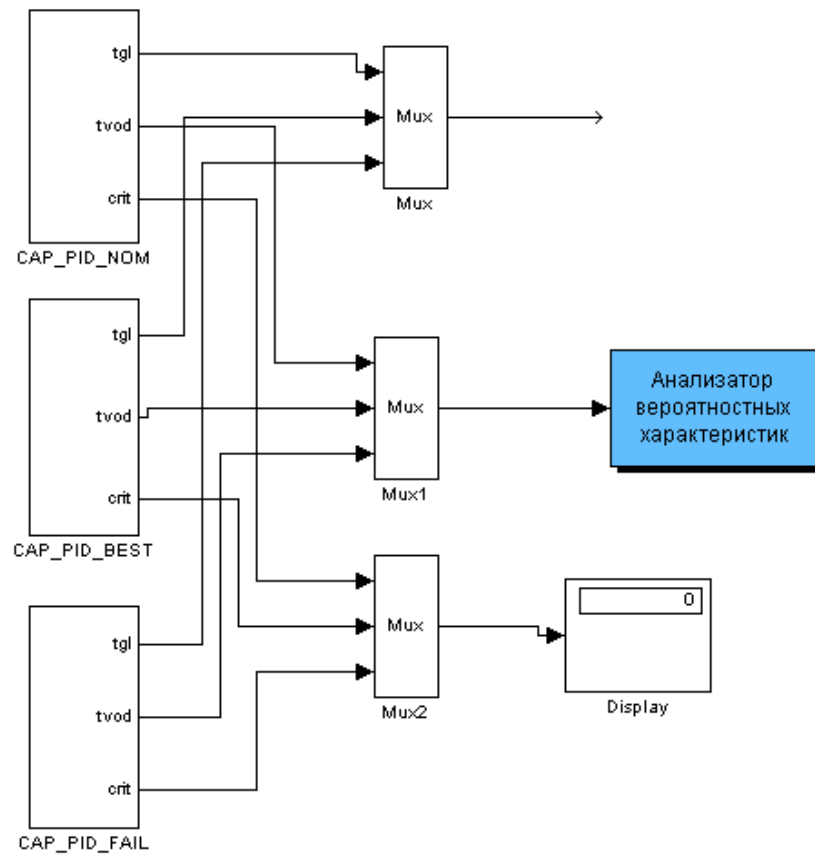


Рис. 3.26 – Структурна схема моделювання CAP з регулятором для оцінки
грубості у сталих режимах

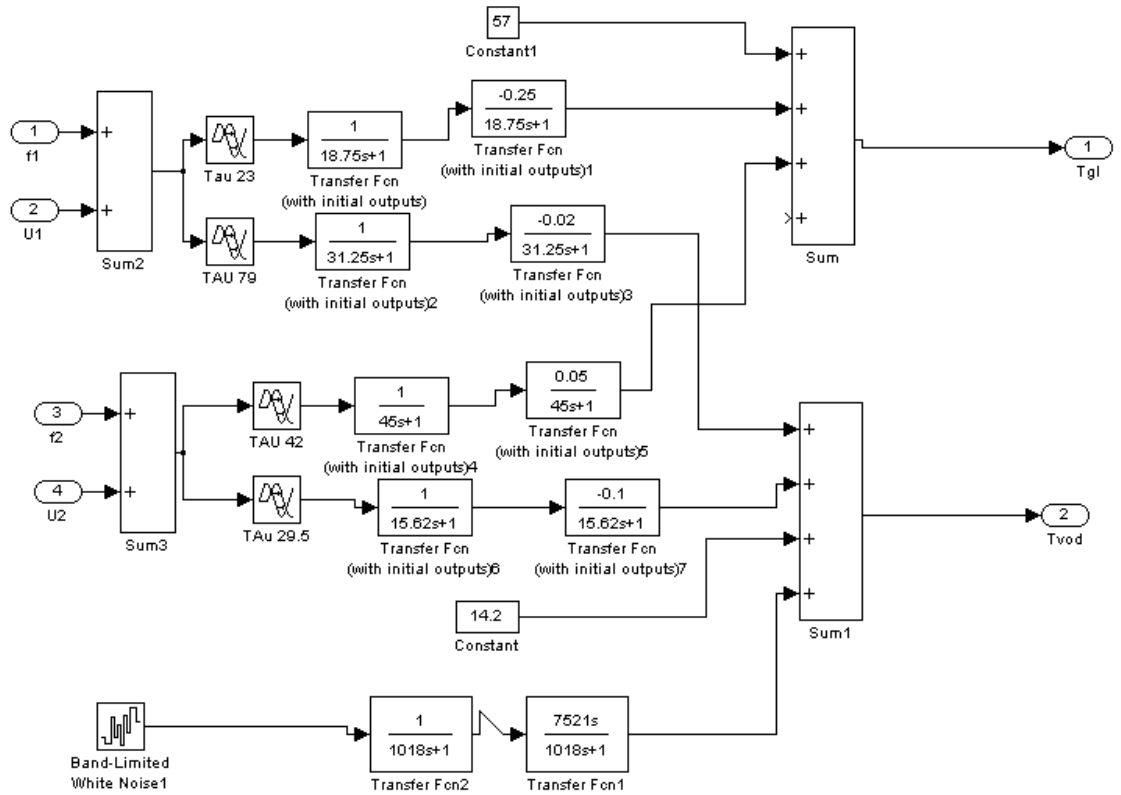
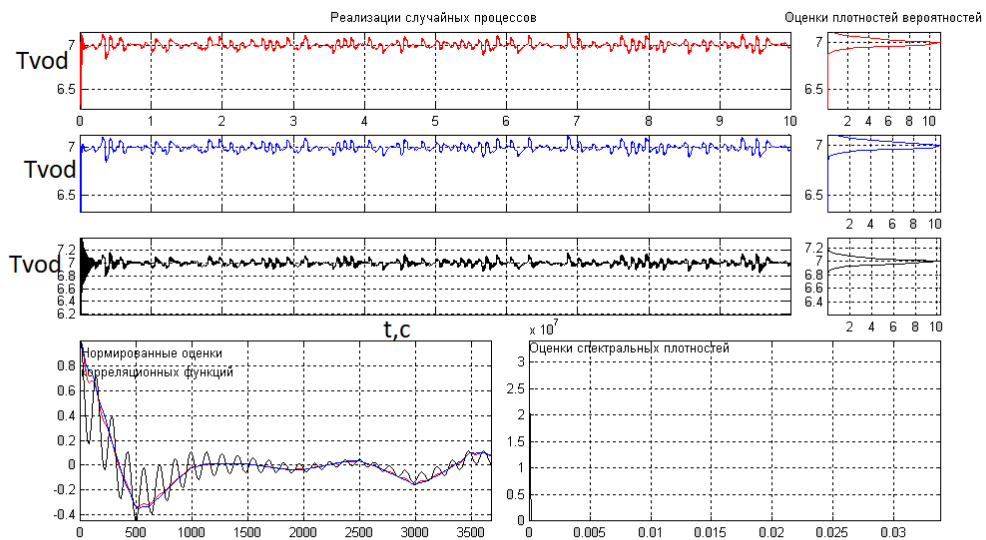


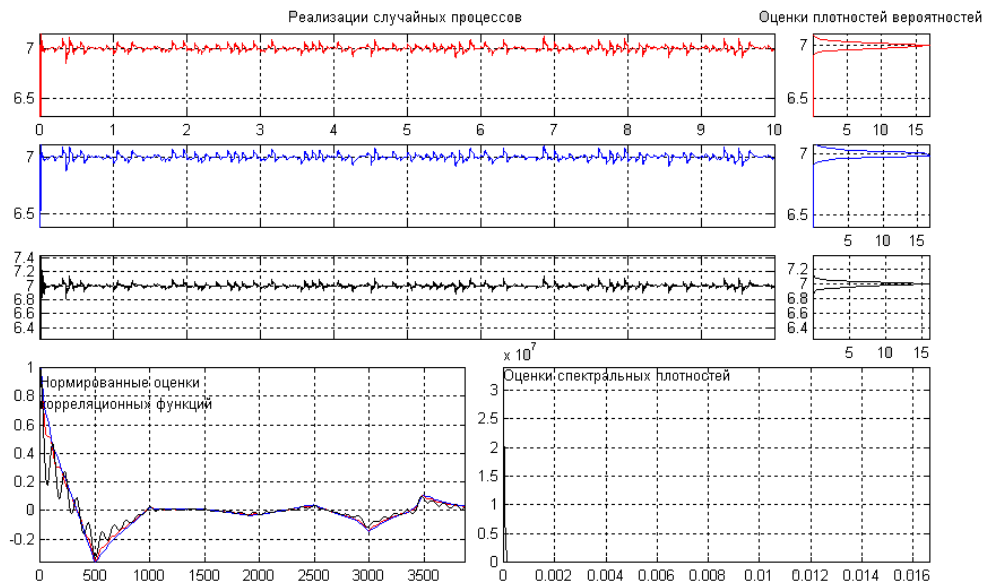
Рис. 3.27 – Структурна схема моделювання ОК для оцінки грубості САР у сталіх режимах

Проводимо аналіз означених САР на грубість



Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса		
	1	2	3
Оценка среднего значения (математического ожидания)	7.0	7.0	7.0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.042	0.04	0.05
Оценка среднеквадратического периода / частоты	1105.0 / 0.0057	1227.0 / 0.0051	971.1 / 0.017

Рис. 3.28 – Результати моделювання САР з ПІ-регулятором



Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса		
	1	2	3
Оценка среднего значения (математического ожидания)	7.0	7.0	7.0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.026	0.025	0.03
Оценка среднеквадратического периода / частоты	1105.0 / 0.0057	1290.3 / 0.0049	754.7 / 0.0083

Рис. 3.29 – Результати моделювання САР з ПІД-регулятором

Порівняння результатів моделювання проведемо за математичним очікуванням, середньоквадратичним відхиленням, середньоквадратичним періодом та інтегральним критерієм. Порівняльні результати оцінки САР на грубість з ПІ-регулятором зведено в таблицю 6.6, а САР з ПІД-регулятором – в таблицю 6.7.

Таблиця 3.6 – Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість у сталих режимах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	7	7	7

Середньоквадратичне відхилення	0,042	0,04	0,05
Середньоквадратичний період	684,7	1227	731
Інтегральний критерій	145	130	183

Таблиця 3.7 – Результати оцінки САР з ПІД-регулятором на грубість у сталих режимах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	7	7	7
Середньоквадратичне відхилення	0.026	0.025	0.03
Середньоквадратичний період	1105	1290	754
Інтегральний критерій	104	87	147

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

3.3.1 - аналіз особливості об'єкта регулювання, які знижують динамічну точність САР

Причиною недостатньої точності САР можуть бути зовнішні умови: дія інтенсивних контрольованих і неконтрольованих збурень, інтенсивна зміна завдання САР, а також внутрішні особливості ОУ і САР (значне співвідношення τ_0 / T_0 , взаємний вплив каналів в багатовимірної САР).

Основним шляхом підвищення динамічної точності розглянутої САР є побудова автономної САР. Відповідно до цього структурна схема САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.30

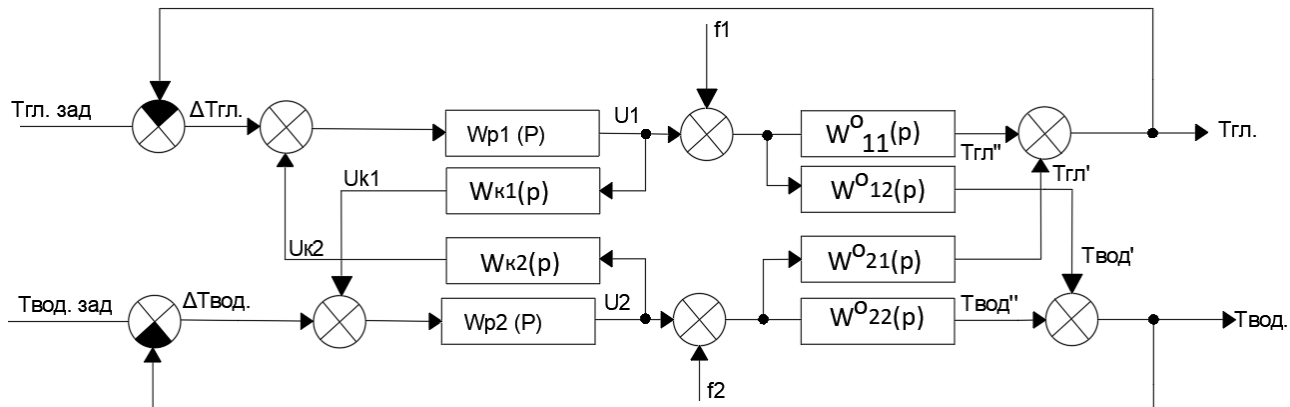


Рис. 3.30 - Структурна схема раціональної САР підвищеної динамічної ТОЧНОСТ

Математичні моделі каналів

<p>Канал U1-Tvod</p> $W_{U1-Tvod}^O(p) = \frac{-0,02 \cdot e^{-109p}}{37,5p+1} - 1\text{й поря}$ $W_{U1-Tvod}^O(p) = \frac{-0,02 \cdot e^{-79p}}{(31,25p+1)^2} - 2\text{й порядок}$	<p>Канал U2-Tvod</p> $W_{U2-Tvod}^O(p) = \frac{-0,1 \cdot e^{-44,5p}}{18,75p+1} - 1\text{й}$ <p>порядок</p> $W_{U2-Tvod}^O(p) = \frac{-0,1 \cdot e^{-29,5p}}{(15,62p+1)^2} - 2\text{й порядок}$
<p>Канал U1-Tgl</p> $W_{U1-Tgl}^O(p) = \frac{-0,25 \cdot e^{-38p}}{25p+1} - 1\text{й}$ <p>порядок</p> $W_{U1-Tgl}^O(p) = \frac{-0,25 \cdot e^{-23p}}{(18,75p+1)^2} - 2\text{й порядок}$	<p>Канал U2-Tgl</p> $W_{U2-Tvod}^O(p) = \frac{0,05 \cdot e^{-75p}}{62,5p+1} - 1\text{й порядок}$ $W_{U2-Tvod}^O(p) = \frac{0,05 \cdot e^{-42p}}{(45p+1)^2} - 2\text{й порядок}$

Таблиця 3.8- Оптимізовані параметри ПІД регулятора

Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	-5.8445	-30	-3.15	0	до - 121.8558
Tiz1	29.3827	1	53.2	200	після - 50.4334
Trp1	17.7885	0	38	300	оптимізації.
Kr2	-11.703	-30	-5	0	Кількість кроків процедури оптимізації:
Tiz2	32.7484	1	62.5	200	максимальна - 1000
Trp2	17.3813	0	44.5	300	фактична - 461

Прийmemo спрощену передоточну функцію ПІД регулятора

$$W_{P1}(p) = -5.84 \cdot \left(1 + \frac{1}{29.38} + 17.78p \right)$$

$$W_{P2}(p) = -11.7 \cdot \left(1 + \frac{1}{32.74} + 17.38p \right)$$

3.3.2 - розробляють, реалізують і налагоджують імітаційні моделі коригуючих зв'язків і САР в цілому

$$T_{вод}' + T_{вод}'' = T_{вод} = 0$$

$$T_{вод}' = u_1 \cdot W_{12}^0(p); \quad T_{вод}'' = u_1 \cdot W_{K1}(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^0(p)$$

$$T_{гл}' + T_{гл}'' = T_{гл} = 0$$

$$T_{гл}' = u_2 \cdot W_{21}^0(p); \quad T_{гл}'' = u_2 \cdot W_{K2}(p) \cdot W_{P1}(p) \cdot W_{11}^0(p)$$

$$u_1 \cdot W_{12}^0(p) + u_1 \cdot W_{K1}(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^0(p) = 0$$

$$u_2 \cdot W_{21}^0(p) + u_2 \cdot W_{K2}(p) \cdot W_{P1}(p) \cdot W_{11}^0(p) = 0$$

$$u_1 \cdot W_{K1}(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^0(p) = -u_1 \cdot W_{12}^0(p)$$

$$u_2 \cdot W_{K2}(p) \cdot W_{P1}(p) \cdot W_{11}^0(p) = -u_2 \cdot W_{21}^0(p)$$

$$W_{K1}(p) = -\frac{W_{12}^O(p)}{W_{P2}(p) \cdot W_{22}^O(p)}$$

$$W_{U_1-\text{ТВОД}12}^O(p) = \frac{-0,02 \cdot e^{-109p}}{37,5p+1}; W_{U_2-\text{ТВОД}22}^O(p) = \frac{-0,1 \cdot e^{-44,5p}}{18,75p+1}$$

$$\begin{aligned} W_{P2}(p) &= -11,7 \cdot \left(1 + \frac{1}{32,74} + 17,38p\right) \\ &= -11,7 \cdot \left(\frac{32,74 * 17,38 * p^2 + 32,74p + 1}{32,74}\right) \\ &= -11,7 \cdot \frac{569p^2 + 32,74p + 1}{32,74p} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{K1}(p) &= -\frac{W_{12}^O(p)}{W_{P2}(p) \cdot W_{22}^O(p)} = -\frac{\frac{-0,02 \cdot e^{-109p}}{37,5p+1}}{-11,7 \cdot \frac{569p^2 + 32,74p + 1}{32,74p} \cdot \frac{-0,1 \cdot e^{-44,5p}}{18,75p+1}} \\ &= -\frac{-0,02}{-11,7 \cdot -0,1} \cdot \frac{e^{-109p}}{e^{-44,5p}} \cdot \frac{32,74p \cdot (18,75p+1)}{(37,5p+1) \cdot (569p^2 + 32,74p + 1)} \\ &= 0,017 \cdot e^{-109p - (-44,5p)} \cdot \frac{32,74p \cdot (18,75p+1)}{(37,5p+1) \cdot (569p^2 + 32,74p + 1)} \\ &= 0,017 \cdot e^{-64,5p} \cdot \frac{32,74p \cdot (18,75p+1)}{(37,5p+1) \cdot (569p^2 + 32,74p + 1)} \end{aligned}$$

Подальші розрахунки доцільно проводити тільки для одного коригувального зв'язку, оскільки основною регульованою змінною є температура води, на яку більшою мірою впливає перехресний зв'язок від температури гліколю.

Передаточна функція коригуючого зв'язку ідеальних диференціаторів та ланок чистого випередження (фізично нереалізованих ланок) не містить. Тому ця передаточна функція є фізично реалізованою.

Розкладаємо передаточну функцію коригуючого зв'язку на типові ланки, складаємо схему моделювання, отримуємо перехідну характеристику розрахункового фізично реалізованого коригуючого зв'язку.

$$W_{K1}(p) = 0,017 \cdot e^{-64.5p} \cdot \frac{32.74p \cdot (18.75p + 1)}{(37.5p + 1) \cdot (569p^2 + 32.74p + 1)}$$

$$= 0,017 \cdot e^{-64.5p} \cdot \frac{32.74p}{(37.5p + 1)} * \frac{18.75p + 1}{(569p^2 + 32.74p + 1)}$$

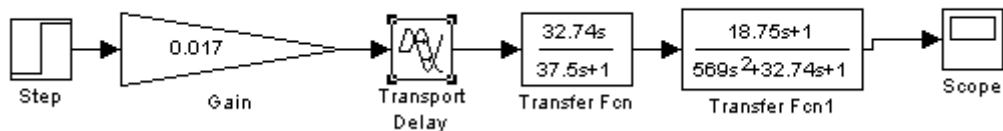


Рис. 7.2 – Структурна схема моделювання передаточної функції коригуючого зв'язку

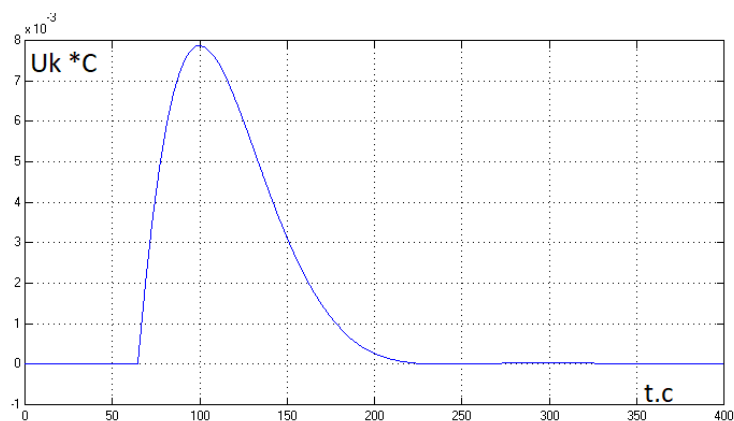


Рис. 3.31 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку

Спрощення коригувальних зв'язків з урахуванням особливостей їх технічної реалізації та параметричний синтез САР при детермінованих вхідних впливах

Спрощуємо передаточну функцію коригуючого зв'язку.

$$W_{K1}(p) = 0,017 \cdot e^{-64.5p} \cdot \frac{32.74p \cdot (18.75p + 1)}{(37.5p + 1) \cdot (569p^2 + 32.74p + 1)}$$

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

Отримаємо параметри спрощеного коригуючого зв'язку

$$K_K = 0,017; T_{K1} = 64.5; T_{K2} = 32.74.$$

Для уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку скористаємося схемою моделювання.

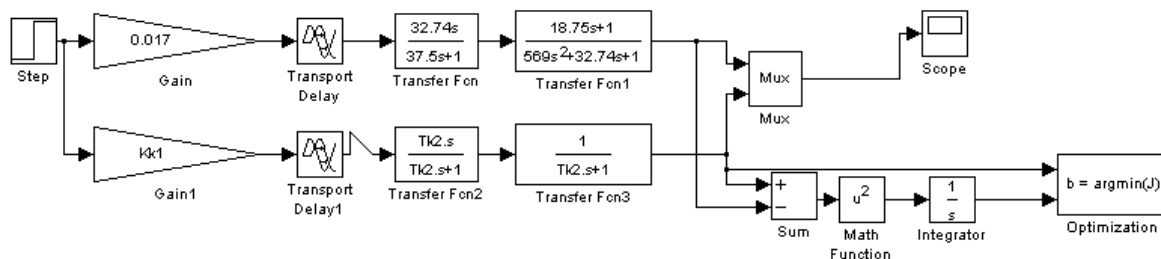
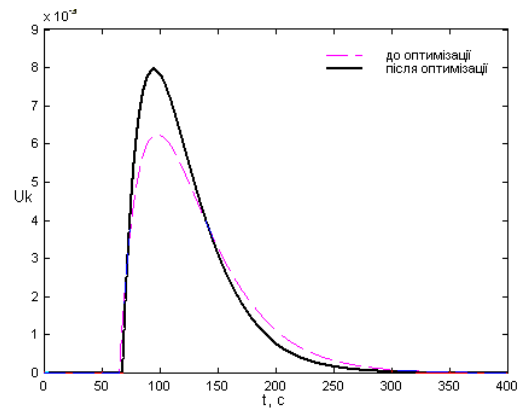


Рис. 3.32 – Схема моделювання СКЛ відносно НФРКЛ



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kk1	0.021603	0	0.017	10	до - 0.00014407
Tk1	67.6652	0	64.5	300	після - 3.3528e-005
Tk2	26.9133	1	32.74	300	оптимізації.
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1000
					фактична - 76

Рис. 3.33 – Результати оптимізації параметрів коригуючого зв'язку

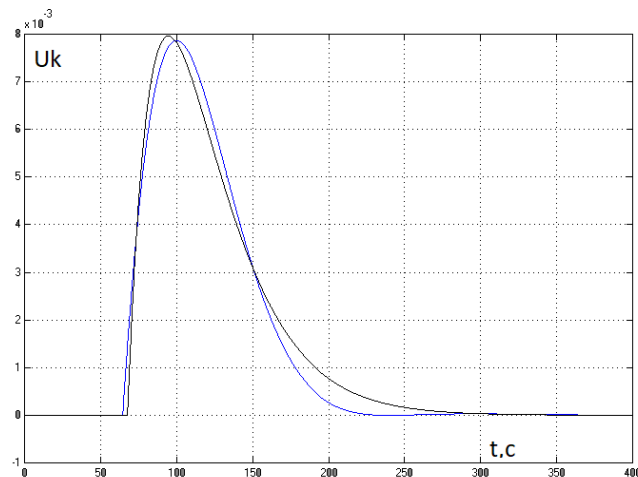


Рис.3.34 – Перехідні характеристики розрахункового та спрощеного коригуючого зв'язку

Як можемо побачити, розрахункова та спрощена перехідні характеристики з мінімальними відхиленнями.

3.3.3 Інтегруємо спрощену передаточну функцію коригуючого зв'язку до структурної схеми САР підвищеної динамічної точності. Проведемо оптимальний параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності.

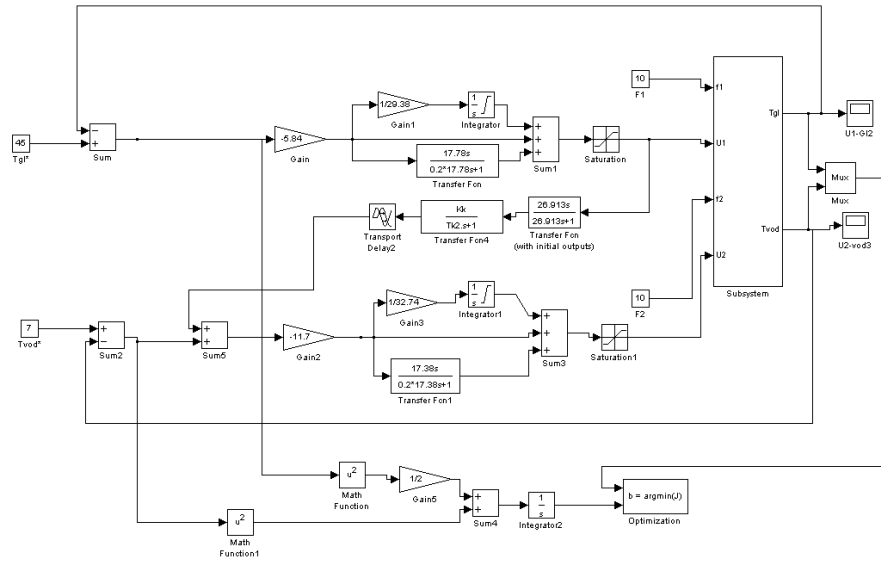
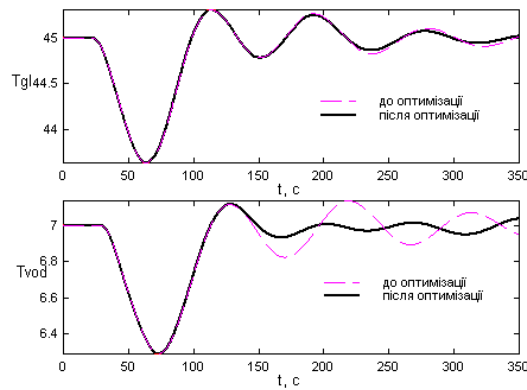


Рис. 3.35 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу коригувального зв'язку



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kk1	0.010072	0	0.017	10	до - 51.766
Tk1	105.2545	0	64.5	300	після - 50.0083
Tk2	29.4975	1	32.74	300	оптимізації.
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1000
					фактична - 97

Рис. 3.36 – Результати оптимізації параметрів коригувального зв'язку з додатковими параметрами оптимізації

3.3.4 - з використанням моделей параметричних збурень проводимо машинні експерименти з перевірки САР на грубість

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

Проаналізуємо САР підвищеної динамічної точності на грубість.

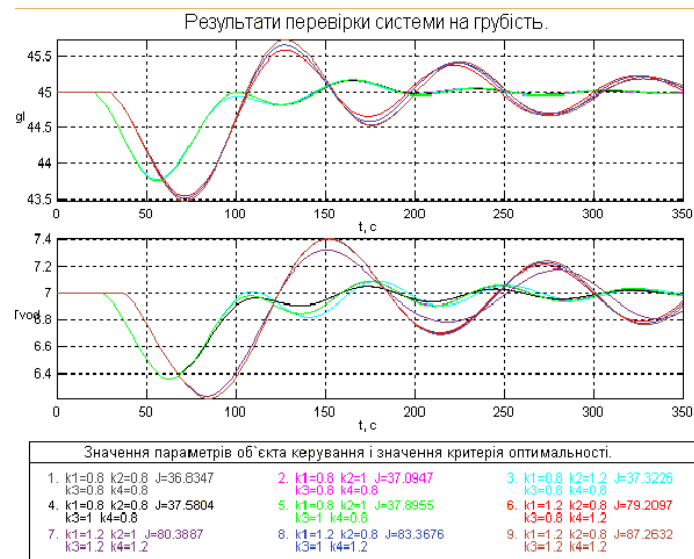


Рис. 3.37 – Аналіз САР підвищеної динамічної точності на грубість за умов варіації параметрів ОК

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК наведено на рис. 7.10. Як видно з результатів оцінки САР на грубість, в умовах варіації параметрів ОК САР дає перехідні процеси, що сходяться, а значить, САР є грубою.

Проведемо порівняльний аналіз САР при номінальних параметрах ОК, при параметрах ОК, «найсприятливіших» та «найнесприятливіших» для керування, в умовах дії стохастичних збурень.

«Найсприятливішою» для керування є САР з ПІД-регулятором з часами запізнення в каналах ОК, меншими на 20% від номінальних значень.

«Найнесприятливішою» для керування є САР з ПД-регулятором з часами запізнення в прямих каналах ОК, на 20% більших від номінальних значень, і в перехресних каналах к2 ОК на 20% меншим від номінального а в каналу к3 на 20% більших від номінальних значень

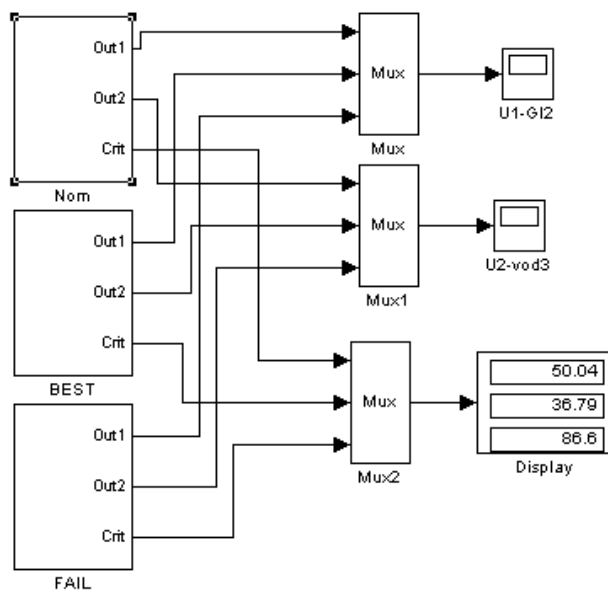


Рис. 3.38 – Структурна схема моделювання для порівняння якості роботи САР підвищеної динамічної точності

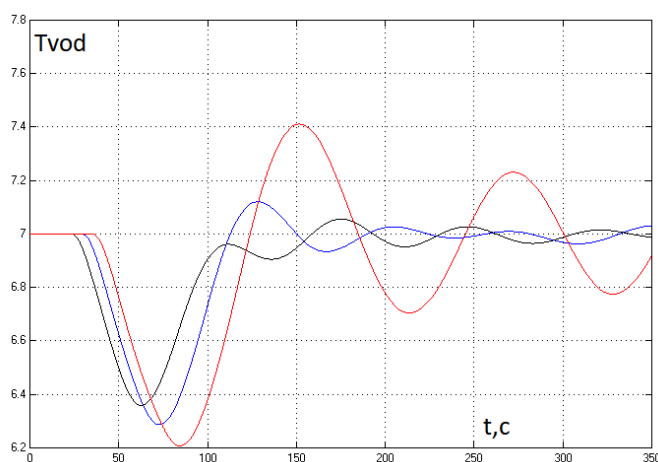


Рис. 3.39 – порівняння якості роботи САР підвищеної динамічної точності Номінальною, і за відхиленням від номінальної в +20% і -20%.

Порівняльний аналіз автономної САР(Tvod) з ПІД-регуляторами

Варіант САР (параметри ОК)	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{гг}^{МАКС}$, °C	$T_{пп1}$, с	$\Delta T_{вод}^{МАКС}$, °C	$T_{пп2}$, с	
номінальні	1.37	88	0.7	102.5	50.4
«насприятливіші»	1.21	79.28	0.65	92	36.79
«найнесприятливіші»	1.51	96.5	0.8	269	84.49

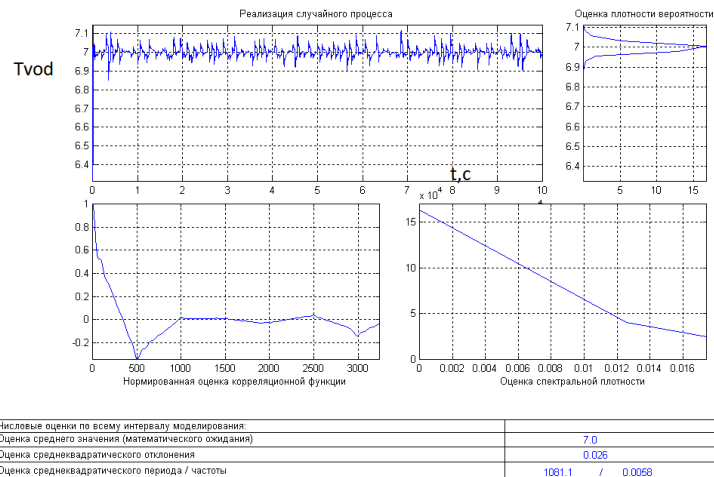


Рис. 3.40 – порівняння якості роботи САР в умовах дії стохастичних збурень

Провести порівняльний аналіз САР базової структури і підвищеної динамічної точності.

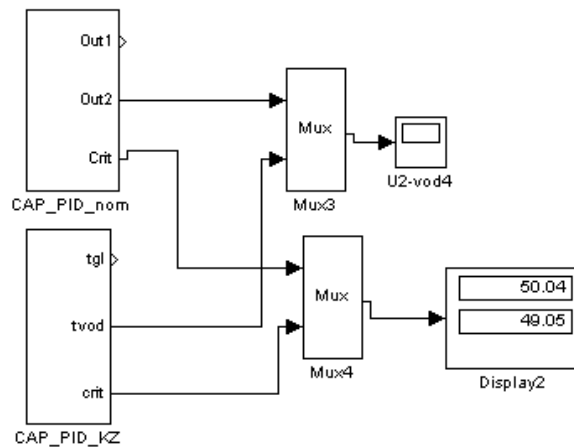


Рис. 3.41 – Структурна схема моделювання для порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

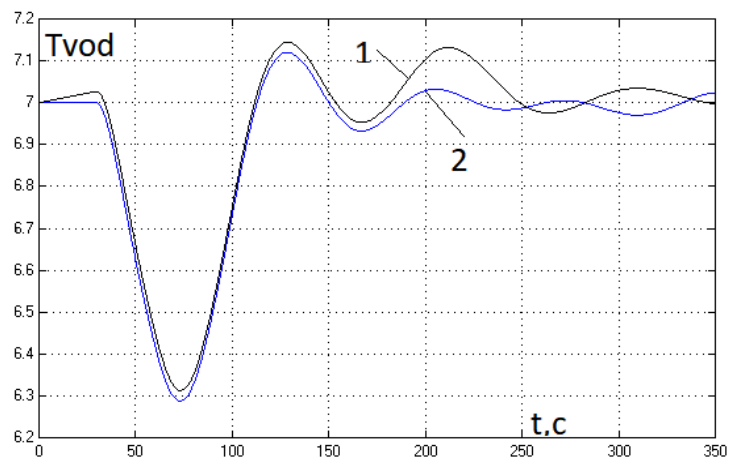


Рис. 3.41 – Результати порівняння САР з ПІД-регуляторами:

1 – САР базової структури;

2 – САР з підвищеною динамічною точністю

3.5 висновок за результатом даного розділу

САР підвищеної динамічної точності задовольняють гранично припустимим вимогам.

Після підвищення динамічної точності САР максимальне динамічне відхилення $\Delta T_{гг}$ не змінилося; час перехідного процесу за $\Delta T_{гг}$ не змінився; протеколивальність системи по $T_{вод}$ зменшилося, час перехідного процесу за $\Delta T_{вод}$ не змінився, інтегральний показник якості зменшився на 10%.

САР підвищеної динамічної точності є грубою. За більшістю показників відносна різниця показників якості перехідних процесів при "найсприятливіших" і "найнесприятливіших" для керування параметрах ОК для САР з ПІД-регулятором більша ніж для автономної САР.

Це може означати, що САР з автономної структури "грубіша", тобто менш чутлива до варіації параметрів ОК. Оскільки для САР підвищення динамічної точності дає суттєве покращення показників якості регулювання у порівнянні з САР базової структури, тому САР підвищеної динамічної точності використовувати доцільно. З усього вище сказаного можна зробити висновок, що за більшості показників якості САР з ПІД регулятором є кращою, ніж САР з ПІ регулятором. Тому в подальшому дослідженні в якості базового алгоритму регулювання будемо застосовувати ПІД-регулятор. За результатом проведення аналізу можемо сказати, що динамічні процеси в САР за умови дії збурень випадкового характеру, не виходять за рамки зони незначних відхилень. Отже, в сталих режимах САР працює якіс

4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом

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

розгорнута схема ТП для вибраної ділянки автоматизації

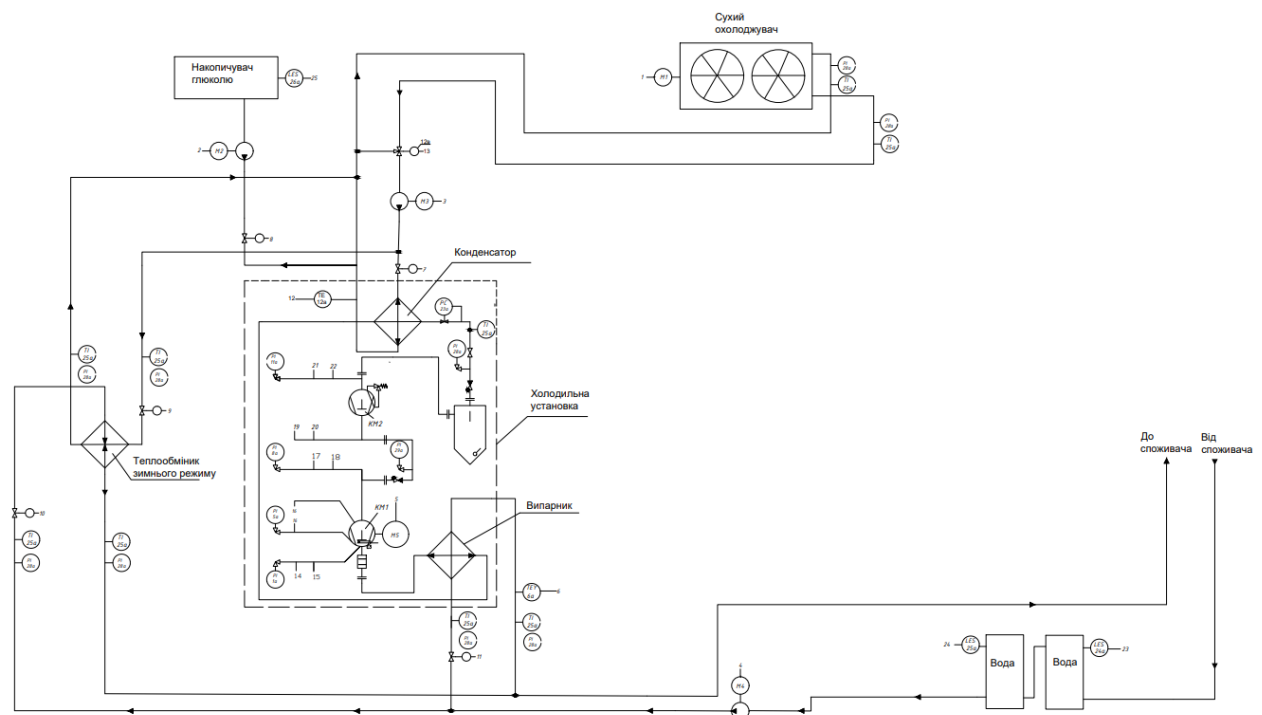


Рис. 4.1. Схема процесу охолодження технологічної води

Гаряча вода від споживача з температурою 12 градусів приходить на буферні накопичувачі, потім на випарник чиллера, який охолоджує її за допомогою випаровування фреону, який кипить у випарнику при температурі -35°C , тим самим охолоджуючи воду для споживача до 7°C . Холодопродуктивність холодильної машини, і, як наслідок, температура води регулюється шляхом зміни обертів двигуна M5 компресорної станції. Після охолодження води випаруваний

холодоагент стискається двоступеневим поршневым компресором КМ1 та КМ2, а стислі пари хладоагенту надходять до конденсатора, що охолоджується гліколем із температурою 40 градусів, об'єм гліколю дрослюється регулювальним органом в потрібних пропорціях для підтримання на виході конденсатора холодильної машини температури гліколю в 45 градусів. Сам гліколь, надалі, охолоджується в сухих охолоджувачах на даху цеху.

Також у системі, представлений на рис. 1.2, передбачено зимовий режим роботи, де вода безпосередньо охолоджується гліколем через теплообмінник.

Залежно від температури навколишнього середовища система холодопостачання може працювати в режимі роботи чилера або в режимі "вільного охолодження".

У разі зниження температури зовнішнього повітря нижче $1,5^{\circ}\text{C}$, система холодопостачання автоматично перемикається в режим "вільного охолодження". Під час роботи в цьому режимі джерелом "холоду" служить навколишнє середовище.

При підвищенні температури зовнішнього повітря до $1,8^{\circ}\text{C}$, система автоматично перемикається в режим роботи чилера.

4.2. Формалізація регламентів функціонування технологічного агрегату: за пуском, технологічною та аварійною зупинками технологічного процесу у вигляді блок-схем та їх опис

Для розробки системи логічного керування первоначально визначемо регламент процесу пуску та зупинки. Відповідні регламенти представлені на рисунку № 1 та 2 , та відображають : Алгоритмізацію послідовності роботи технологічного обладнання

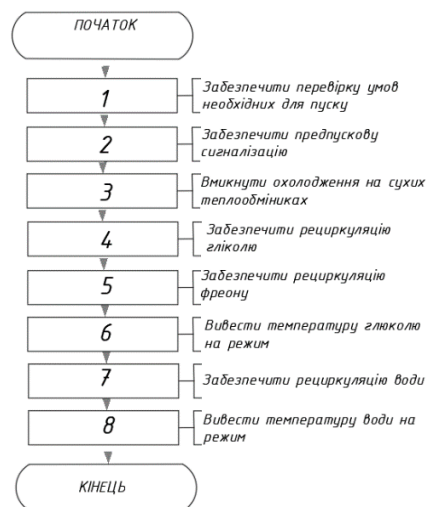


Рис.4.2– Регламент пуску

Для пуску технологічного обладнання необхідно перевірити умови для запуску та забезпечити передпускову сигналізацію. Далі вмикнути двигун сухих охолоджувачів та забезпечити циркуляцію гліколю в системі. Після цього вмикнути двигун холодильної установки для циркуляції фреону та вивести температуру гліколю на режим. Після того як температура досягла мінімально заданої необхідно забезпечити рециркуляцію води та вивести її температуру на режим.



Рис. 4.3– Регламент технологічного останову

Для технологічного останову обладнання спочатку необхідно забезпечити остановочну сигналізацію, та потім зупинити подачу технологічної води та гліколю, після цього необхідно вимкнути двигун холодильної установки та двигун сухих охолоджувачів.

Регламент аварійного останову системи в разі аварії наведено нижче



Рис. 4.4– Регламент аварійного останову

У разі виникнення нештатних та аварійних ситуацій був розроблений регламент аварійного останову. При спрацьовуванні датчика-реле захисту холодильної установки вмикається аварійна сигналізація, вимикається компресор, зупиняється подача технологічної води та гліколю, далі спрацьовують відсічні клапана та вимикається двигун сухих охолоджувачів

4.3. Розробка алгоритмів автоматичного керування: пуском, технологічною та аварійною зупинкою (циклом роботи) технологічного агрегату у вигляді блок-схем та їх опис

На основі регламенту пуску і зупинки ділянки складаємо блок-схему алгоритму пуску і зупинки ділянки. Схеми приведені на рисунку

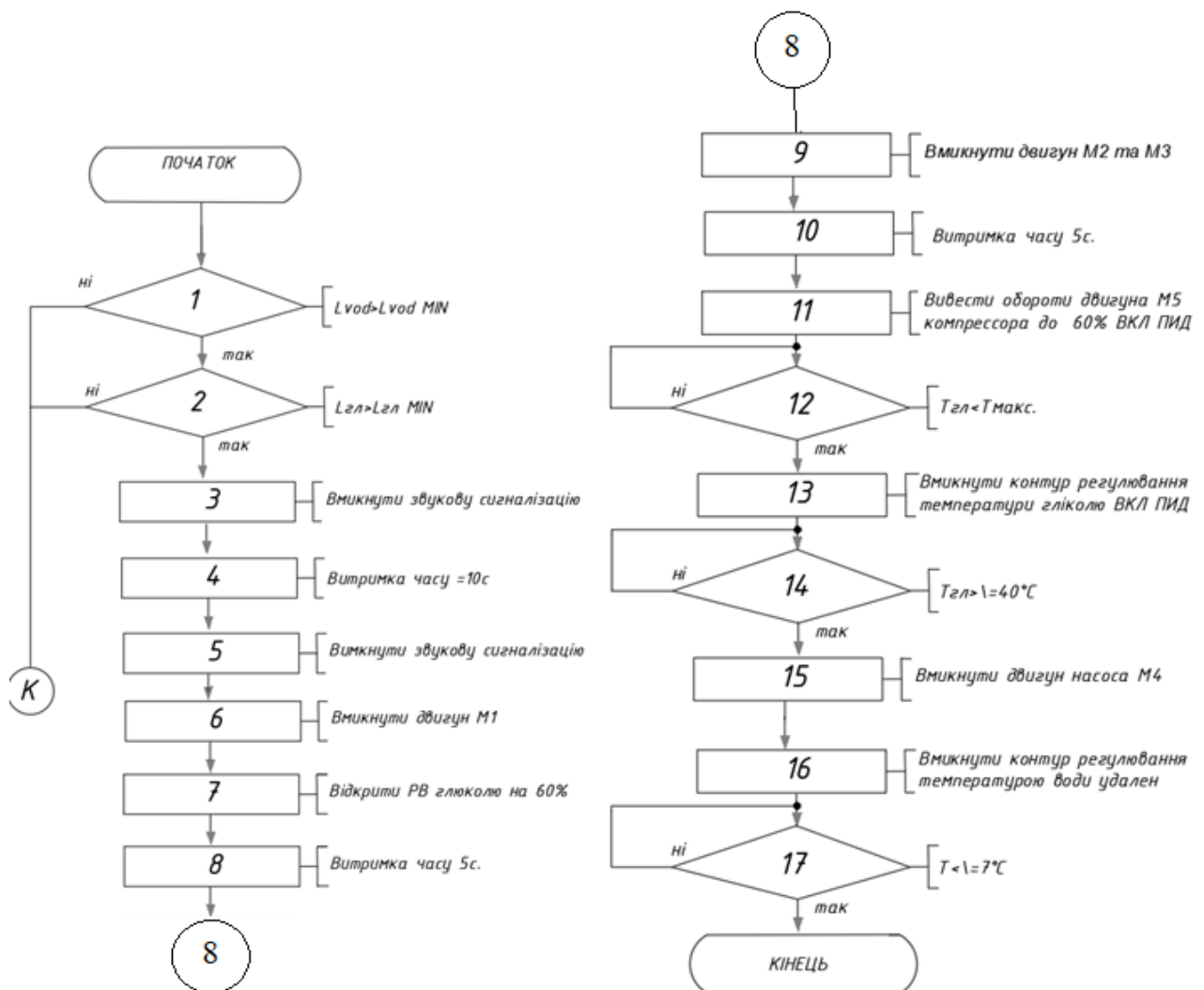


Рис. 4.5– Алгоритм пуску обладнання

Для пуску необхідно перевірити рівень води в напорних резервуарах і рівень гліколю в накопичувальному резервуарі підживлення. Далі вмикається передпускова сигналізація на 10 секунд і запускається двигун М1 сухих охолоджувачів гліколю. Потім вивести регулювальний орган температури гліколю на 60% ходу, почекати 5 секунд і увімкнути два двигуни, М2 (насос підживлення гліколем) і М3 (насос циркуляції гліколю). Після витримки в 5 секунд вивести оберти компресора чилера на 60%, після перевірки умови, щоб

температура гліколю не була вищою від визначено заданої, вмикається контур регулювання температурою. Коли контур регулювання температурою гліколю вийшов на режим 45°C , то вмикається циркуляція води для охолодження і контур регулювання температурою води (за допомогою двигуна М5 холодильної установки).

алгоритм останову

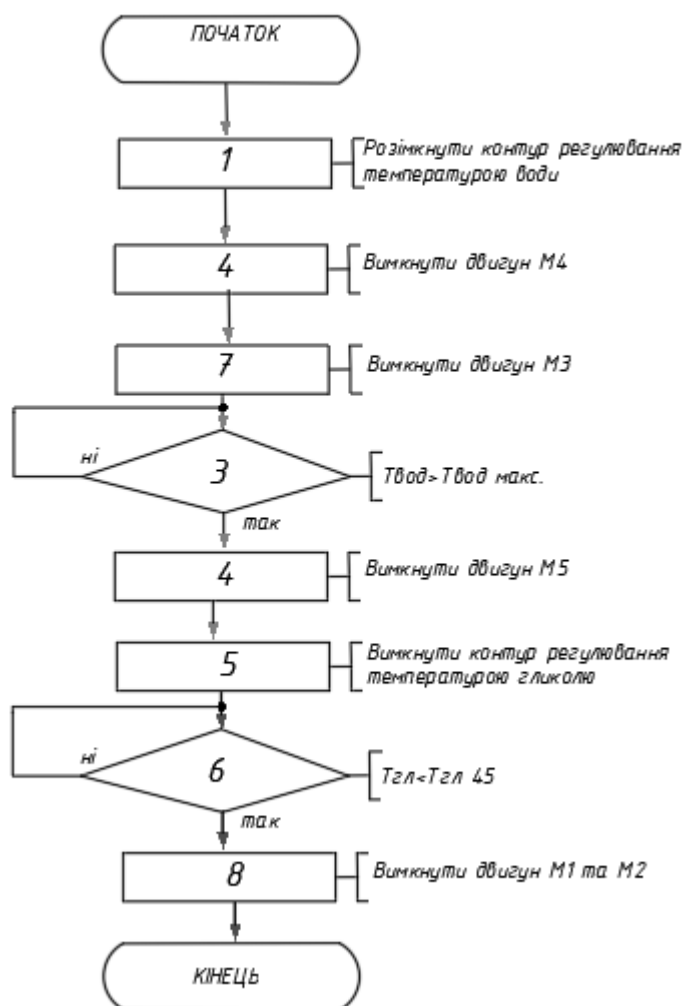


Рис. 4.6– Алгоритм останову обладнання

Здебільшого алгоритм зупинки являє собою зворотну послідовність пуску.

Насамперед необхідно розімкнути контур регулювання температурою води і відключити двигун циркуляції М4 і двигун М3 циркуляції гліколю. Коли температура води перевищить максимальне значення, необхідно відключити двигун М5 чилера холодильної установки і вимкнути контур регулювання температурою гліколю. Після того як температура гліколю стала нижчою за 45*С, вимикається насос підживлення гліколю М2 і двигун сухих охолоджувачів М1.

На основі регламенту аварійної зупинки складаємо блок-схему алгоритму

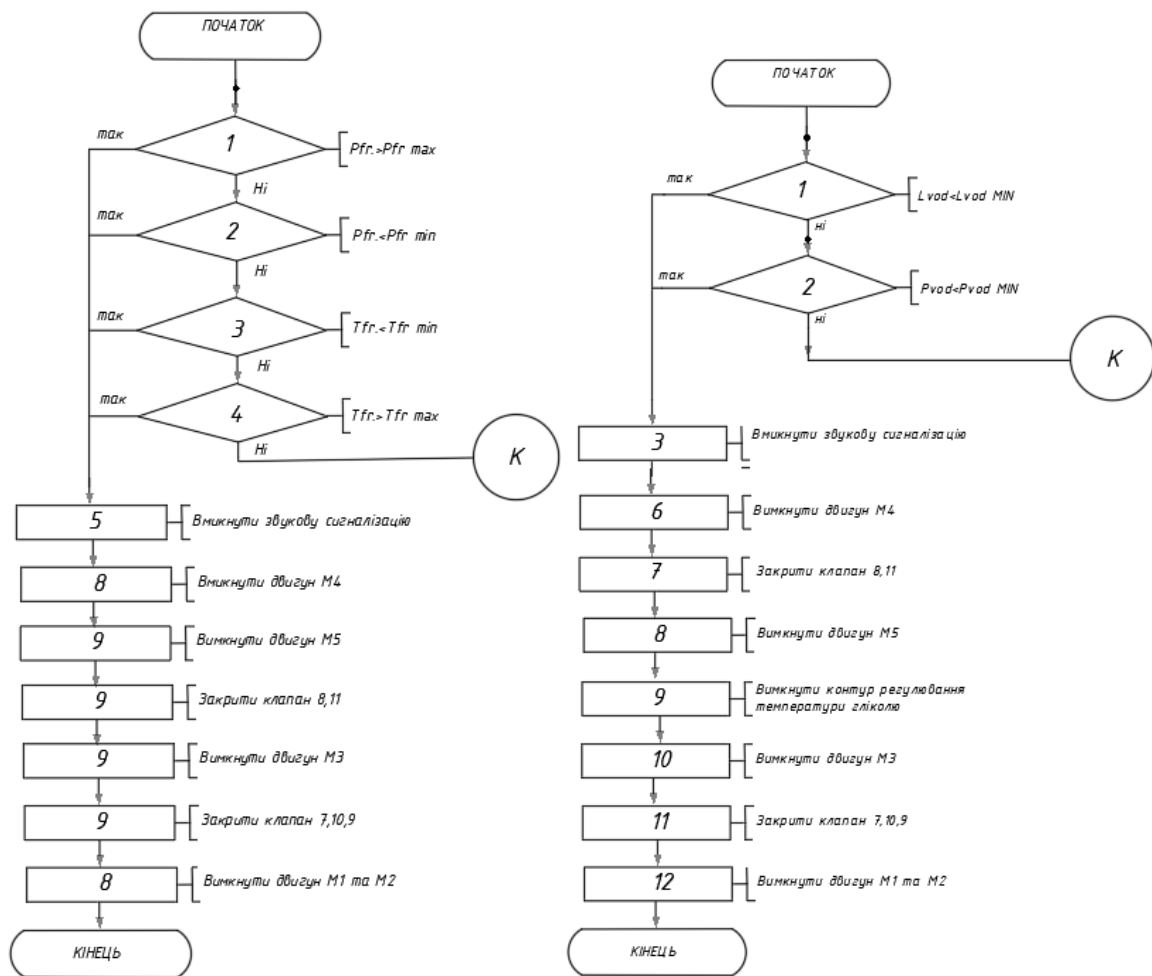


Рис. 4.7–Алгоритм аварійної зупинки

Відпрацювання не штатних ситуацій

Аварійне зупинення необхідне в разі позаштатної ситуації під час роботи технологічного обладнання (наприклад, спрацьовування датчика-реле захисту). Таких алгоритмів може бути кілька на різні випадки.

1 алгоритм аварійної зупинки передбачає собою захист за мінімальною і максимальною температурою і тиском фреону в чиллері. У разі спрацьовування будь-якого з датчиків реле захисту активується послідовне зупинення ТА. Вмикається звукова сигналізація, вимикаються двигун М4 подачі води, потім вимикається двигун компресора М5 і закриваються захисні клапани 8 та 11, після цього вимикається двигун циркуляції гліколю М3 і відтинаються клапани 7, 9, 10, а також вимикаються двигуни М1 сухих охолоджувачів і М2 підживлення гліколем.

2 алгоритм передбачає собою спрацьовування будь-якого з датчиків рівня на напірних резервуарах з водою або бака підживлення гліколем.

Вимикається двигун М4 циркуляції води, потім вмикаються відсічні клапани 8 11, після цього вимикають двигун М5 компресора чилера і контур регулювання температурою гліколю. Потім йде відключення двигуна М3 і подальшим увімкненням відсічних клапанів 7 9 10. Наприкінці йде вимкнення двигуна М1 сухих охолоджувачів і двигуна М2 підживлення гліколю.

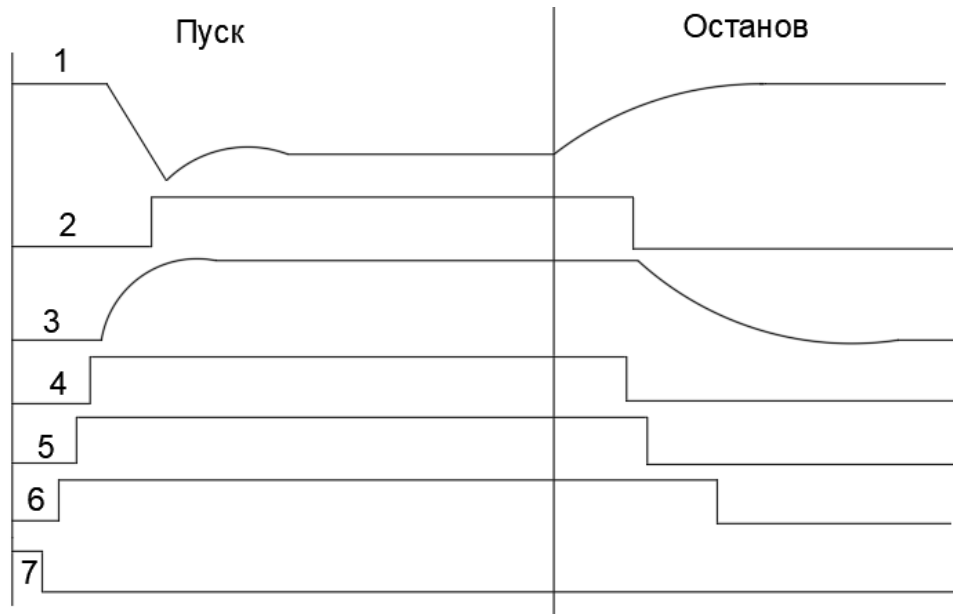


Рис. 4.8 – Циклограма процесів технологічного пуску та технологічна зупинка

- 1 – запуск контуру охолодження гліколю
- 2 – запуск двигуна М4
- 3 – запуск контуру регулювання температури води
- 4 – запуск двигуна компресора М5
- 5 – запуск насосу гліколю М3
- 6 – запуск двигуна М1 сухих охолоджувачів
- 7 – сигналізація

4.4. Розробка функціональної логічної схеми процесу керування технологічним агрегатом, з використанням типових символічних позначень

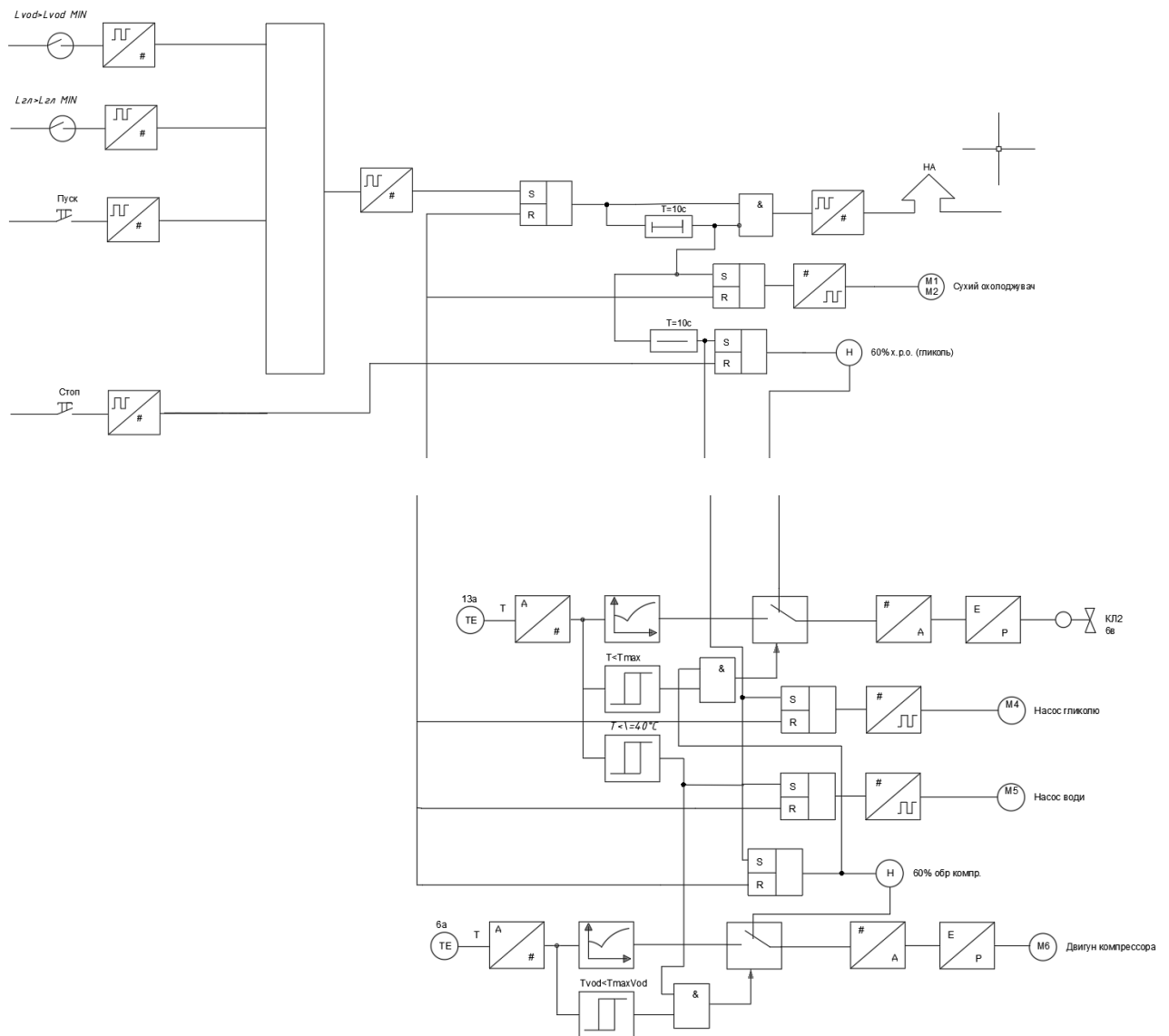


Рис. 4.9– Алгоритм логіко-програмного управління функціональною схемою розробаний у середовищі AutoCAD

На початку перевіряються умови для пуску, а конкретно рівень рідин у резервуарах. Формування умов для пуску забезпечує елемент І, до якого надходять сигнали від датчиків-реле рівня і кнопки Пуск, які проходять через систему ДЦП. Підхоплення сигналу виконує RS тригер. З появою одиниці на виході тригера починає працювати звукова сигналізація, яка вимикається через 10

секунд через блокування елемента І інвертованим сигналом від таймера. Після звукової сигналізації сигнал надходить на RS-тригер, ЦДП вмикає двигуни М1, М2 сухих охолоджувачів, потім сигнал надходить на десятисекундний таймер витримки часу перед тим, як вивести положення регулювального органа на 60%, який регулює температуру води. Далі сигнал надходить на вхід RS тригера, який через ЦДП вмикає насос М4 і виводить положення регулювального клапана температури гліколю та води на 60%. Після того, як регулювальний орган температури води і гліколю вийшли на 60%, сигнал приходить на увімкнення контуру регулювання температури гліколю, який зі свого боку додатково блокується нуль-органом, що подає сигнал на увімкнення по досягненню мінімальної температури гліколю. Після того як температура гліколю досягла 40*С, сигнал від нуль-органу надходить на RS-тригер насоса води М5 через ЦДП, у той самий час сигнал надходить на блокувальний елемент І контуру температури води, який вмикає контур регулювання температури води, якщо досягнута мінімальна температура води .

4.5. Імітаційне моделювання системи логічного керування

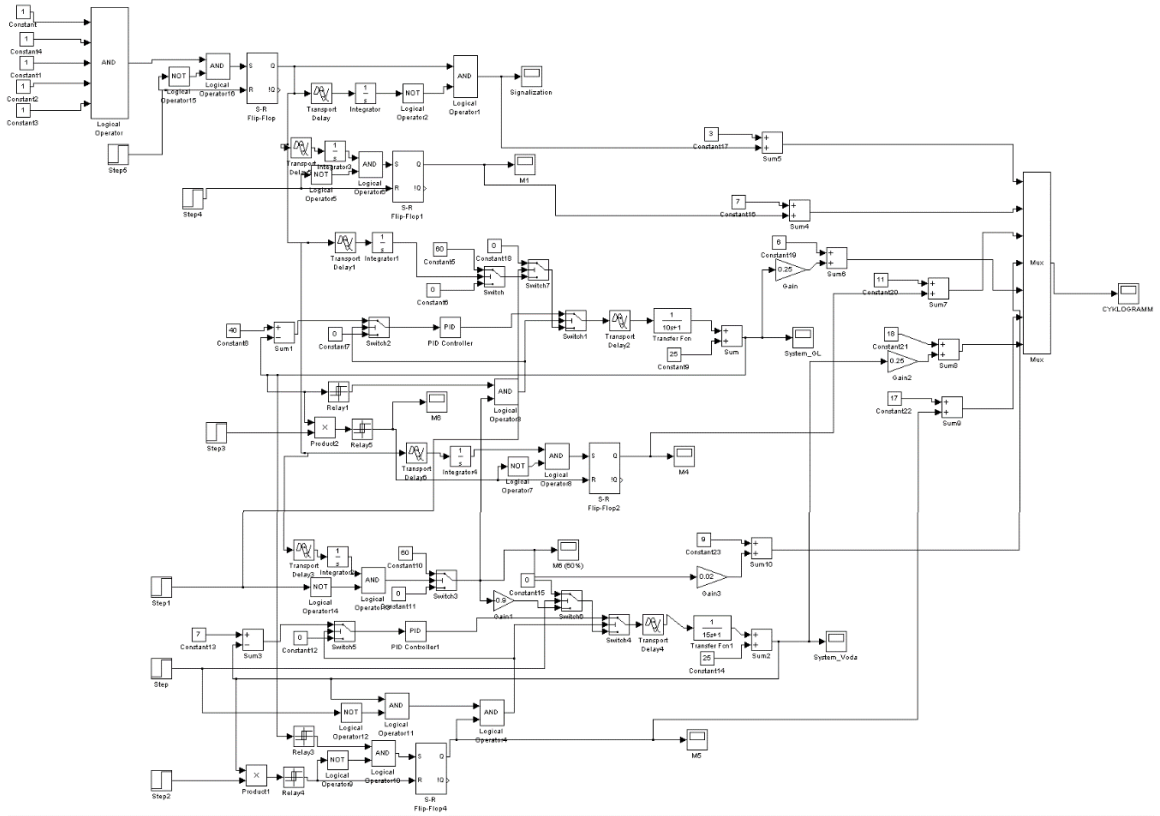


Рис. 4.10–Алгоритм логіко-програмного управління функціональною схемою розробтаний у середовищі MatLab

Алгоритм зупинки ділянки в середовищі MatLab реалізовано таким чином: Сигнал у певній послідовності, по черзі подається на тригери обладнання, тим самим вимикаючи схему в потрібному часовому порядку. За необхідності всі часові затримки можуть регулюватися. Зупинка побудована наступним чином: спочатку відключається контур регулювання температурою води, шляхом перемикання блоків Switch ПІД регулятора. Потім двигун компресора виводиться в нульове положення (відключено) шляхом блокування логічного елемента I, і як наслідок переходу Switch в нульове положення. Після того як температура води стала більшою за максимально задану у нас вимикається насос для води M5. Далі автоматично вимикається контур регулювання температури гліколю. Після того,

як температура гліколю стала меншою за максимальну, сигнал від нуля-органу вимикає насос гліколю М4, після цього вимикаються двигуни сухих охолоджувачів М1 та М2.

Відтворною циклограммою визначили принципову придатність розробленої логічної схеми керування. Циклограма роботи наведена на рис.4.11

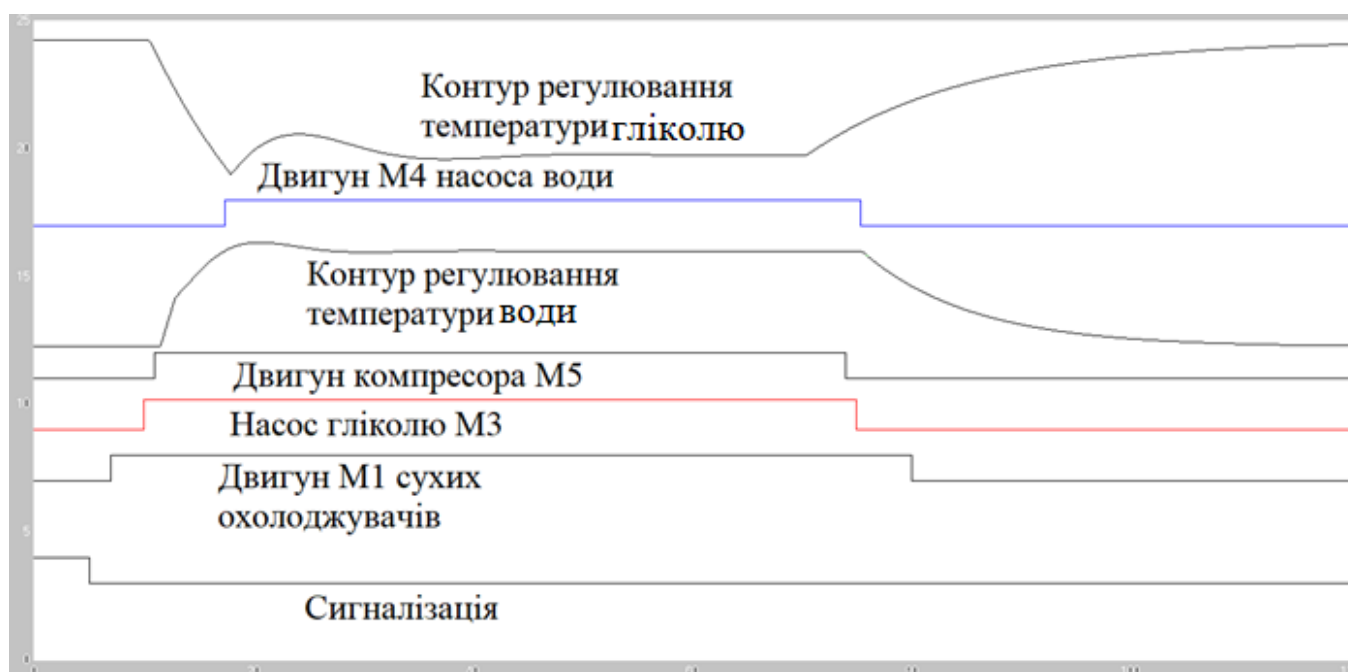


Рис. 4.11: Циклограма пуску та остановки

4.6 Висновки за розділом

В розроблено алгоритми пуску, технологічної зупинки та відпрацювання нештатних ситуацій. Розроблені алгоритми було протестовано в середовищі імітаційного моделювання, результати моделювання у вигляді циклограм (рис. 4.8,) відповідають циклограмам процесу (рис. 4.11.). Провівши моделювання функціонально-логічної схеми ТП в середовищі імітаційного моделювання, можемо стверджувати що циклограма процесу пусків, зупинки та аварійної

зупинки ТП, у цілому, відповідають реальним технологічним процесам в обраній ділянці.

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 й обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів і місць їх розміщення

Перелік середовищ:	Діапазон зміни параметрів вимірювання
Фреон марки р-134а	2 - 2.5 Бар 0-5*С
Технологічна вода	6-8*С
Гліколь	40-45*С

Таблиця 5.1 – характеристики середовищ

5.1.2 характеристики виробничих приміщень

Приміщення для встановлення холодильного обладнання мають такі характеристики: діапазон зміни температури від 10-40*С, можливий завислий пил, шум становить близько 90-100 Дб, тому було прийнято рішення винести автоматизоване місце оператора в окреме приміщення, де рівень шуму не перевищує 50-60 Дб. Дб

Вибираємо клас пожежонебезпечності приміщення відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016

Категорія Г (Помірно пожежонебезпечна) надається приміщенням, які містять: гарячі, розплавлені або розпечені негорючі матеріали та речовини, які в процесі обробки виділяють променисте тепло, полум'я або іскри; горючі гази, тверді речовини або рідини, які спалюються або утилізуються методом спалювання.

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

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

Таблиця 5.2 – мінімально необхідній захит приладів залежно від пожежонебезпечності

степень защиты	Жидкость	IP_0	IP_1	IP_2	IP_3	IP_4	IP_5	IP_6	IP_7	IP_8
IP										
Предметы и пыль		без защиты	защита от капли падающие вертикально	защита от капли падающие под углом до 15°	защита от капли падающие под углом до 60°	защита от от капли падающие со всех сторон	защита от брызг под давлением со всех сторон	защита от мощных водных струй со всех сторон	защита при погружении на короткое время, глубина не более 1 м	защита при погружении на короткое время, глубина не более 1 м
IP 0_	без защиты	IP 00								
IP 1_	защита от частиц более 50 мм	IP 10	IP 11	IP 12						
IP 2_	защита от частиц более 12,5 мм	IP 20	IP 21	IP 22	IP 23					
IP 3_	защита от частиц более 2,5 мм	IP 30	IP 31	IP 32	IP 33	IP 34				
IP 4_	защита от частиц более 1 мм	IP 40	IP 41	IP 42	IP 43	IP 44				
IP 5_	защита от крупной пыли	IP 50				IP 54	IP 55			
IP 6_	полная защита от пыли	IP 60					IP 65	IP 66	IP 67	IP 68

Таблиця 5.3 – ступінь захисту електроприладів

Відповідно [ДСТУ Б В.1.1-36:2016] та табл. 5.2 можна зробити висновок, що ступінь захисту можна брати IP 44 і вище

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

5.2.1 перелік параметрів які підлягають вимірюванню

Таблица 5.4– перелік параметрів які підлягають вимірюванню

№	Параметр	позначення	Единиця виміру	Номинальное значение	Допустимые отклонения от номинала		
					Длительные	Кратковременные	
						величина	величина
1	Температура на вході чиллера	T ₄	°C	12	±0.2	±1	300с
2	Температура на виході чиллера	T ₃	°C	7	±0.2	±1	240с
3	Тиск на виході чиллера	P ₄	кПа	350	±5	±7	300с
4	Тиск на виході чиллера	P ₁	кПа	350	±5	±10	240с
5	Температура «гарячого» гліюколю	T ₉	°C	45	±1	±2	300с

6	Температура «холодного» глюколю	T10	°C	40	±1	±2	240с
7	Рівень в накопичувальній емності для води	L1... L2	м	5	±5	±7	300с
8	Рівень в накопичувальній емності для глюколю	L3	м	2	±5	±10	240с

Класс допуска	Допуск, °C	Диапазон измерений, °C			
		Платиновый ТС, ЧЭ		Медный ТС, ЧЭ	Никелевый ТС, ЧЭ
		Проволочный ЧЭ	Пленочный ЧЭ		
AA W 0.1 F 0.1	$\pm (0,1 + 0,0017 t)$	От -50 до +250	От 0 до +150	—	—
A W 0.15 F 0.15	$\pm (0,15 + 0,002 t)$	От -100 до +450	От -30 до +300	От -50 до +120	—
B W 0.3 F 0.3	$\pm (0,3 + 0,005 t)$	От -196 до +660	От -50 до +500	От -50 до +200	—
C W 0.6 F 0.6	$\pm (0,6 + 0,01 t)$	От -196 до +660	От -50 до +600	От -180 до +200	От -60 до +180

П р и м е ч а н и е — |t| — абсолютное значение температуры, °C, без учета знака.

Таблиця 5.5– допусків для термометрів

Диаметр манометра	Класс точности					
	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4,0
40	-	-	-	-	+	+
50	-	-	-	-	+	+
60	-	-	+	+	+	+
100	-	-	+	+	+	-
160	-	+	+	+	+	-
250	+	+	+	+	-	-

Таблиця 5.6– класи точності манометрів

5.2.2 - обґрунтовують розподіл представлення інформації користувачу в рамках АРМ, «за місцем», і (чи) іншими спеціальними пунктами;

Для вимірювання температури гліколю використовуємо Термометр 1/4", діам 35 мм, 0-80С Гросс Gross горизонтальний, занурювальний (40а-43а)



Рис.5.1– Термометр Gross

Клас точності — 2,0

Ступінь захисту IP-44

Для вимірювання температури фреону r-134a (48а) використовуємо
ТЕРМОМЕТр ПОКАЗУЮЧИЙ ТКП-100М1



Рис.5.2– ТЕРМОМЕТр ТКП-100М1

1. Межі вимірювань, °С: -50...+50
2. Довжина з'єднувального капіляра L, м: 2,5

3. Довжина занурення термобалона L1, мм: 160
4. Класи точності 1
5. Температура навколишнього повітря, °С:
для виконання УХЛ4 -10...+60;
6. Кліматичні виконання УХЛ4; Т3
7. Ступінь захисту від впливу пилу і води IP54

**Для вимірювання температури води використовуємо терометр по місцю
Bimetal thermometer SUKU, D 100, L 100,0-40 °C + sump 1/2 (C31.000112) (44a-
47a)**



Рис.5.3– термометр SUKU, D 100, L 100,0-40 °C

підключення ззаду G1/2

діапазон температур 0-40°C

**Для вимірювання тиску фреону r-134a (33a-37a) використовуємо Манометр
Shine Year високого тиску фреона R22, R134, R404,R407C**



Рис.5.4– Манометр Shine Year

Діаметр манометра 80 мм.

З'єднання 1/8» NPT (конусна різьба).

Клас точності 1

**Для вимірювання тиску гліколю (27а-30а) та води (31а,32а,38а,39а)
застосовуємо МАНОМЕТР РАДІАЛЬНИЙ 0-6 BAR D-63MM 1/4» 610R**



Рис.5.5– МАНОМЕТР РАДІАЛЬНИЙ

Середовище вимірювання Рідина/Пар/Газ

Діаметр корпусу 63 мм

Одиниця вимірювання Бар

Максимальний діапазон 6

Різьба підключення 1/4»

Клас точності 1,6 клас точності

5.2.3 Вибір типів датчиків і розподільних пристроїв

Для вимірювання температури використовуємо датчик температури фірми terra **TSP-U-1-3н-Pt1000-80-6-M20x1,5-70-Y-OLED-/-50...100/** (клас точності 0.2 ступінь захисту IP54)

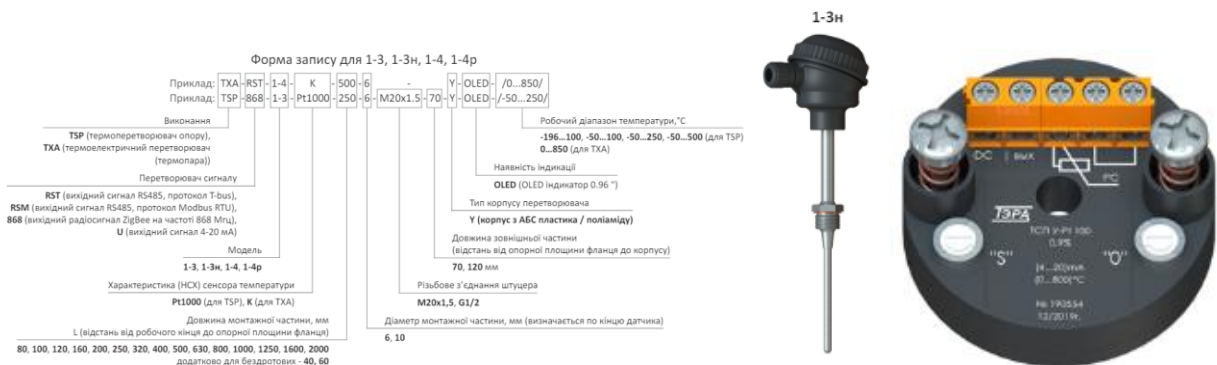


Рис.5.6– форма заказу за яким обрано датчик температури, його зовнішній вигляд та схема підключення нормуючого перетворювача.

В якості датчиків-реле захисту холодильної установки вибираємо

Датчик-реле температури RT 9 -45--15 °C 2 м IP66 (017-506666) (15a 18a 20a 22a)

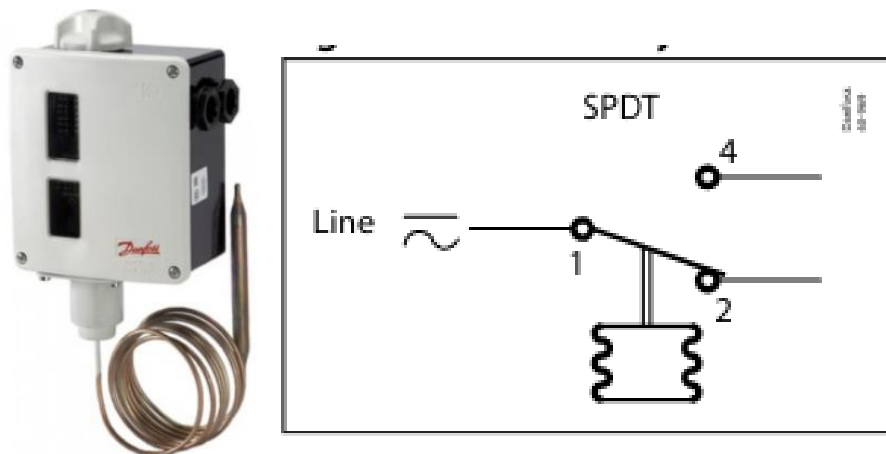


Рис.5.7– Датчик-реле температури RT 9 та схема підключення

Діапазон температури: $-45 - -15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Диференціал нижній діапазон: $2.2 - 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Диференціал верхній діапазон: $1 - 4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Довжина капілярної трубки: 2 м

Клас захисту: IP66

Скидання: Автоматичне

**Датчик-реле тиску Реле тиску Danfoss KP5 060-117166 Реле тиску Danfoss
KP5 060-117166 (14a 17a 19a 21a)**

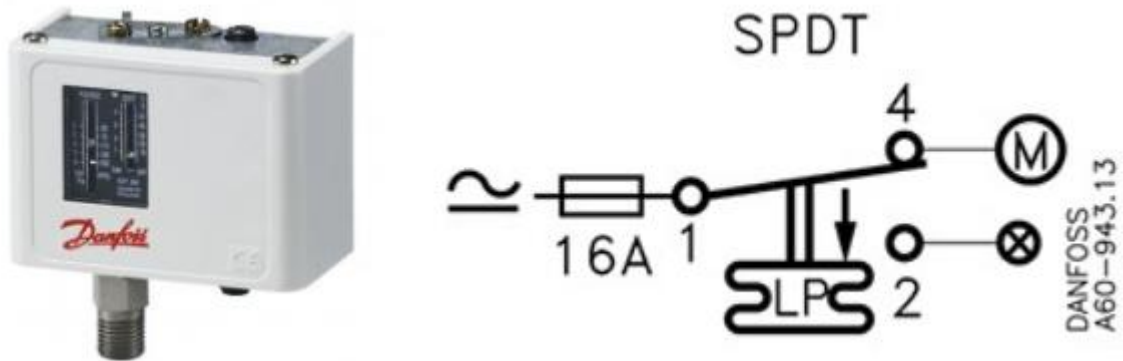


Рис.5.8– Датчик-реле тиску Danfoss KP5 та схема підключення

Діапазон регулювання 8...32 бар

Перепад тиску 1,8...6 бар

Робочий тиск (PS) 35 бар

Тиск випробування (PT) 35 бар

Робоча температура (TS) -40 - 65 °С

Температура навколишнього середовища -40°С ... +65°С (протягом 2 год до +80°С).

Ступінь захисту IP44

Електричне з'єднання введення для кабелів Ø6-14 мм

З'єднання 1/4» різьблення

Реле контролю мастила Danfoss MP 54 060B016866 (16a)

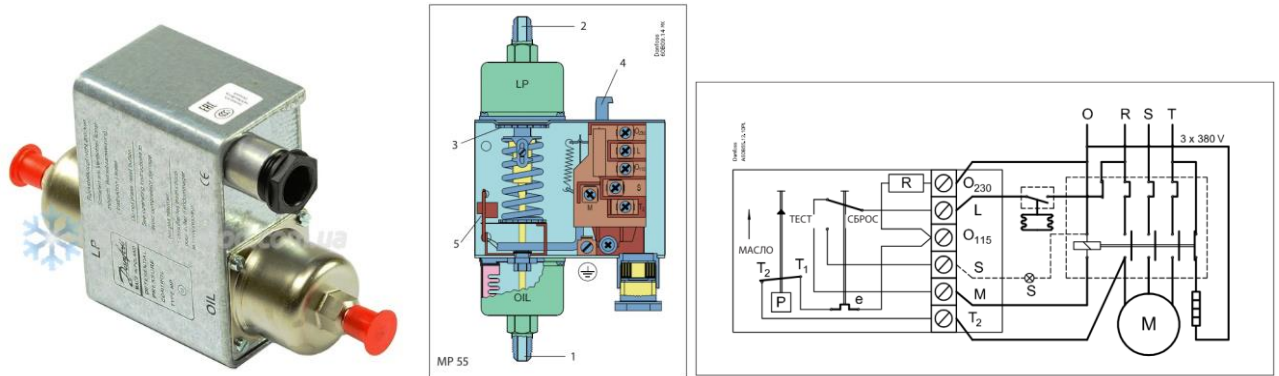


Рис.5.9– Датчик-реле тиску мастила Danfoss MP 54 та схема підключення

Реле перепаду тиску MP 54 і MP 55 використовуються як прилади автоматичного захисту від зниження тиску масла в картері компресора. Якщо протягом заданого проміжку часу тиск оливи нижче заданого, реле перепаду тиску вимикає компресор.

Реле MP 54 і 55 використовуються в системах охолодження з фторвмісними холодоагентами. Цей пристрій обладнано тепловим реле часу із заданим часом спрацювання і налаштовано на фіксований перепад тиску.

Реле MP 55 і 55А дають змогу регулювати перепад тиску і постачаються як із тепловим реле часу, так і без нього.

Для вимірювання верхнього рівня в накопичувачі гліколю та води в напорних резервуарах застосовуємо Ємнісний датчик-реле рівня Dinel CLS-23N (23а-25а)

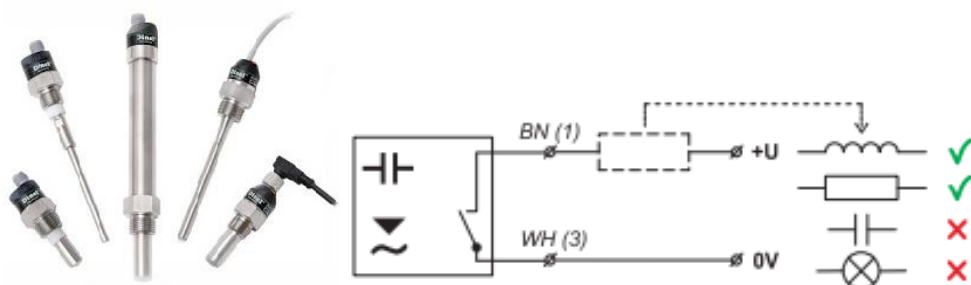


Рис.5.10– Датчик-реле рівня Dinel CLS-23N та схема підключення

Технічні параметри:

Здатність виявляти рідкі речовини, які здатні проводити струм або є діелектриками

Чутливість регулюється за допомогою магнітної ручки

Можливість прямого встановлення в різні ємності і труби

Мають такі виходи: S, PNP і NAMUR (вибухонебезпечні середовища) Здатність витримувати високі температури і тиск до 70 кгс/см² Спосіб кріплення: різьблення метричні (M18 і M20), дюймове різьблення G3/4", 1/2-14

Основные технические данные	
Напряжение питания	6 ... 30 В пост. тока
Потребление тока	макс. 0,6 мА
Тип выхода	S (электронный выключатель с током)
Ток переключения (min / макс)	3,3 / 40 мА
Остаточное напряжение в замкнутом состоянии	макс. 6 В
Запаздывание выходного сигнала по отношению к активации электрода	0,1 сек.
Диапазон рабочей температуры	-20 ... +80°С
Степень защиты	IP68 (0,1 МПа)
Кабель	PVC 2x 0,34 мм

МЕХАНИЧЕСКОЕ ИСПОЛНЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ	
CLS-23N	базовое исполнение для взрывобезопасных зон
CLS-23NT	высокотемпературное исполнение для взрывобезопасных зон

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ СОЕДИНЕНИЕ		
наименование	размер	обозначение
Метрическая резьба	M18 x 1,5	M18
Метрическая резьба	M20 x 1,5	M20
Трубная резьба	G 3/8"	G
Напорная резьба	1/2-14	NPT

Устойчивость к температуре и давлению					
вариант исполнения	температура на подключение к процессу	средняя температура на поверхности электрода	макс. давление для температуры на подключение к процессу		
			до 30°С	до 80°С	до 130°С до 150°С
CLS-23N-10, 12	-25°С ... +85°С	-25°С ... +85°С	7 МПа	5 МПа	–
CLS-23N-11	-10°С ... +85°С	-10°С ... +85°С	6 МПа	4 МПа	–
CLS-23N-30 *	-20°С ... +80°С	-30°С ... +150°С	7 МПа	5 МПа	–
CLS-23N-20*, 21*	-20°С ... +80°С	-30°С ... +150°С	3 МПа	2,5 МПа	–
CLS-23NT-10, 12, 30	-30°С ... +150°С	-30°С ... +150°С	7 МПа	5 МПа	4 МПа 3 МПа
CLS-23NT-20, 21	-30°С ... +150°С	-30°С ... +150°С	3 МПа	2,5 МПа	2 МПа 1 МПа

* предназначены для установки сверху (вертикальные)

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

Для регулювання потоку гліколю використовуємо Belimo GV12-24-SR-T
Електропривод сідельного клапана



BELIMO

Рис.5.11 – Belimo GV12-24-SR-T

Привід GV12-24-SR-T застосовується для керування сідельними клапанами серій H6...W/H7...W

Керується привід стандартним аналоговим сигналом 2...10В. Напруга живлення - АС/DC 24В.

Час ходу приводу становить 82с.

Просте встановлення

Привід легко кріпиться до шийки клапана за допомогою спеціального кріплення. Шток клапана автоматично з'єднується зі штоком приводу. Привід може бути закріплений на шийці клапана в будь-якому положенні.

Ручне керування

За допомогою поворотного штурвала. Під час подавання живлення шток приводу повернеться на місце, відповідне до керуючого сигналу.

Висока функціональна надійність

Привід захищений від короткого замикання і переполюсовки живлення, захищений від перевантаження, не потребує кінцевих вимикачів і зупиняється автоматично при досягненні кінцевих положень.

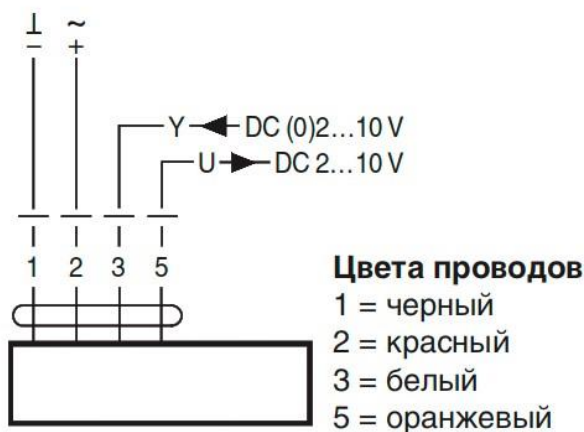


Рис.5.12 –схема підключення Belimo GV12-24-SR-T

Характеристики

Бренд: Belimo

Серія: Belimo GV

Країна реєстрації бренду: Швейцарія

Тип продукції: електропривод регулювального клапана електропривод сидельного клапана

Застосування: для водопостачання опалення

Функціональні параметри приводу

Час ходу: 82 с

Керуючий сигнал: аналоговий

Зусилля закриття: 12 кН

Хід штока: 65 мм

Рівень шуму: 63 дБ(А)

Ручне керування: ручка на корпусі

Електричні параметри приводу

Номінальна напруга живлення: 24 В \sim /=

Частота напруги живлення: 50/60 Гц

Діапазон напруги живлення: 18...26,4В \sim /=

Розрахункова потужність: 65 ВА

Клас захисту: III (для низьких напруг)

Ступінь захисту корпусу: IP65

Робочі умови

Максимальна робоча температура: 70°C

Мінімальна робоча температура: -20 °C

Для дроселювання гліколю спільно з виконачим механізмом використовуємо 3-Х ходовий сідельний клапан белімо

BELIMO

Globe valve, 3-way, Flange, PN 16

- For closed (high temperature) hot water and steam systems in the non-critical range
- For modulating control of air-handling and heating systems on the water side

Technical data sheet

H7..S



Type overview

Type	DN	kvs (m ³ /h)	Stroke	PN	n(gl)	Sy min.
H715S	15	4	20 mm	16	3	50
H720S	20	6.3	20 mm	16	3	100
H725S	25	10	20 mm	16	3	100
H732S	32	16	20 mm	16	3	100
H740S	40	25	20 mm	16	3	100
H750S	50	40	20 mm	16	3	100
H765S	65	63	30 mm	16	3	100
H780S	80	100	30 mm	16	3	100
H7100S	100	160	30 mm	16	3	100
H7125S	125	220	40 mm	16	3	100
H7150S	150	320	40 mm	16	3	100

Technical data

Functional data	Fluid	Hot water and steam ($\Delta p/P1 < 0.4$), water with max. 50% volume of glycol
Fluid temperature		5...150°C
Fluid temperature note		120°C up to 1600 kPa 150°C up to 1400 kPa
Flow characteristic		Control path A – AB: equal percentage (VDI/VDE 2173) n(gl) = 3, optimised in the opening range; Bypass B – AB: Linear (VDI/VDE 2173)
Leakage rate		Control path A – AB: max. 0.05% of the kvs value; Bypass B – AB: max. 1% of the kvs value
Closing point		Top (▲)
Pipe connection		Flange PN 16 according to ISO 7005-2
Installation position		upright to horizontal (in relation to the stem)
Servicing		maintenance-free
Materials	Valve body	EN-GJL-250 (GG 25)
Body finish		with protective paint
Closing element		Stainless steel
Stem		Stainless steel
Stem seal		PTFE V-ring
Seat		Stainless steel

Рис.5.13 –характеристики сідельного клапана белімо

Для регулювання обертів компресора холодильної установки використовуємо Частотний перетворювач Danfoss VLT HVAC Drive FC-102 450 кВт - 131B74

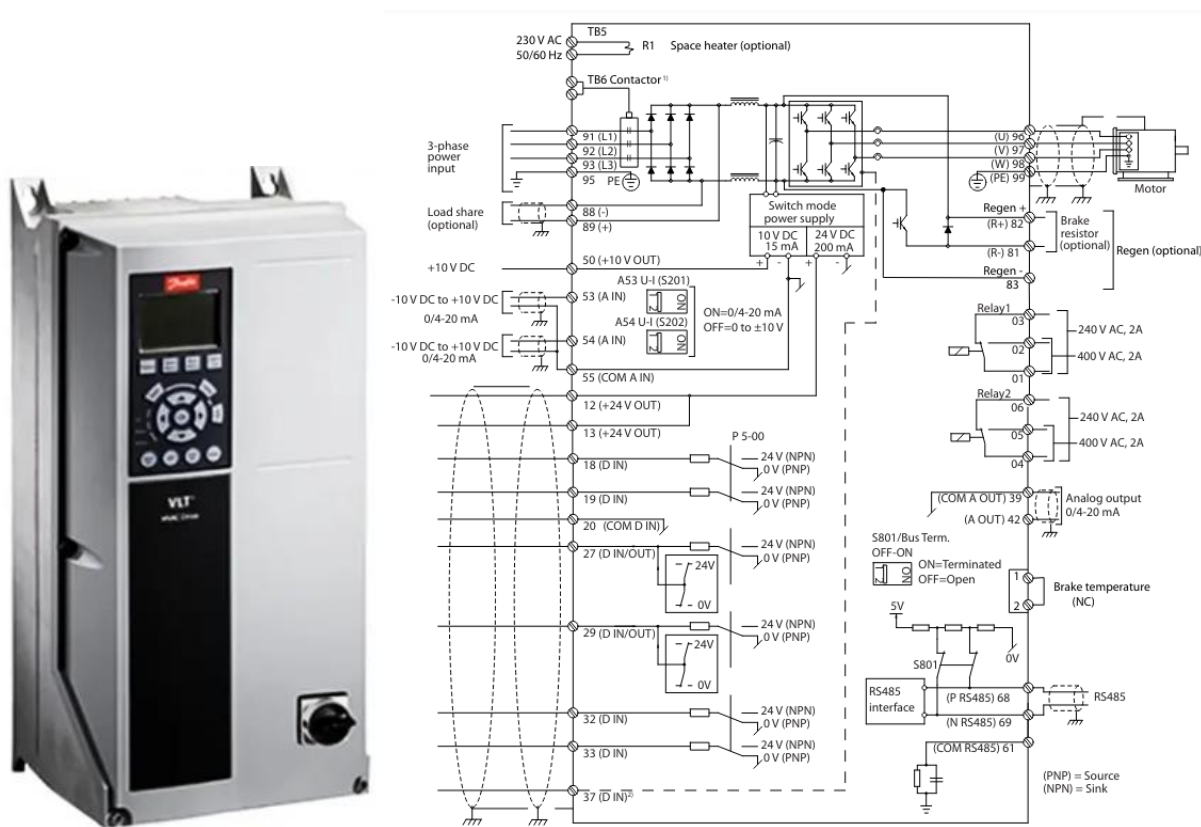


Рис.5.14 –Частотний перетворювач Danfoss VLT HVAC Drive FC-102 та схема підключення

Струм-800А

Потужність, кВт -450

Панель керування - У комплекті

Частота комутації, кГц 4-32

Клас захисту IP-20

Тип керування - векторний

Фазність 3 фаз -380В

Висота x Ширина xглибина, мм 2000x600x494

В якості відсічних клапанів вибираємо Електромагнітний клапан (2P025-08)



Рис.5.15– відсічний клапан(2P025-08)

Потужність котушки 7 Вт

Клас ізоляції В

Робоча напруга котушки 24 В DC

Умови експлуатації

Максимальний робочий тиск 7 бар

Робоче середовище Вода; Повітря; Газ; Масло

Робоча температура Від -5 до +80 °С

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

5.4.1 Вибір побудови структури комп'ютерної мережі

Оскільки все необхідне обладнання розміщене в одному приміщенні і не розташоване далеко одне від одного, то вибір побудови технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі обираємо **централізований**. Тобто все обладнання для керування процесом розміщено в одному щиті.

5.4.2 Вибір контролера та модулів вводу вивода

В якості контролера для керування техпроцесом вибираємо SIMATIC S7-1500 із середовищем програмування TIA Portal

Таблиця 5.7–Список параметрів що вводяться та виводяться з контролеру.

	Найменування параметру	Умовне позначення	Вид сигналу A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході/виході контролеру	Позначення на схемі
1	Електродвигун сухих охолоджувачів	1	D	I	«открытый коллектор»	DI1
2	Насос для рідини	2-4	D	I	«открытый коллектор»	DI2...4
3	Електродвигун сухих охолоджувачів	1	D	O	«открытый коллектор»	DO1
4	Насос для рідини	2-4	D	O	«открытый коллектор»	DO2..4
5	Обороти компресора	5	D	0	20-50 гЦ	DI5

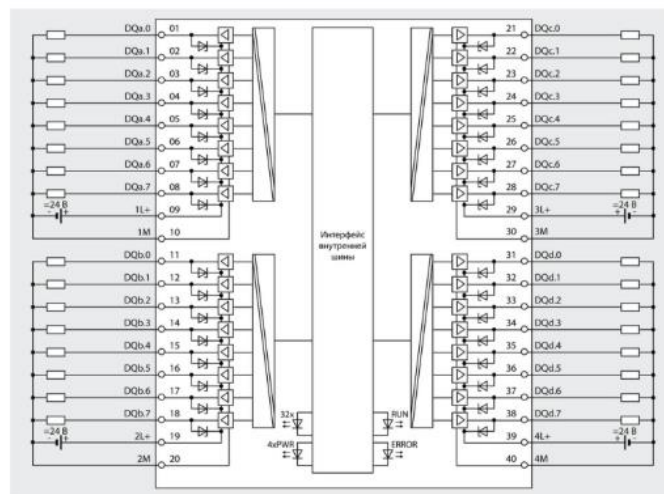
6	Температура води на виході холодильної машини	Tvod (6)	A	I	(4-20 мА)	AI1
7	Температура води на виході холодильної машини	Tvod (6)	A	O	(4-20 мА)	AO1
8	Відсічні клапани	7-11	D	O	24 V DC	DO5..9
9	Відсічні клапани	7-11	D	I	24 V DC	DI6..10
10	Сигнал від датчика температури	12а	A	I	(4-20 мА)	AI2
11	Сигнал на керування 3-х ходовим кл.	12б	A	O	(4-20 мА)	AO2
12	Реле захисту холодильної установки	14-22	D	I	24 V DC	DI11..19
13	Датчики рівня	23-25	D	I	24 V DC	DI20-22
14	Сигналізація	HL	D	O	24 V DC	DO10-12

Кількість каналів вводу\виводу: AI – 2 , AO – 2, DI – 22, DO – 12

Технічну структуру системи управління розробимо на базі контролера S7-1500. Для реалізації алгоритмів управління в модулях ПЗО контролера повинні бути передбачені 2 аналогових входів, 2-аналогових виходи, 22-дискретних входів і 12-дискретних виходів.

В якості центрального процесора обираємо **cpu 1518-4 pn/dp (6ES7518-4AP00-0AB0)**

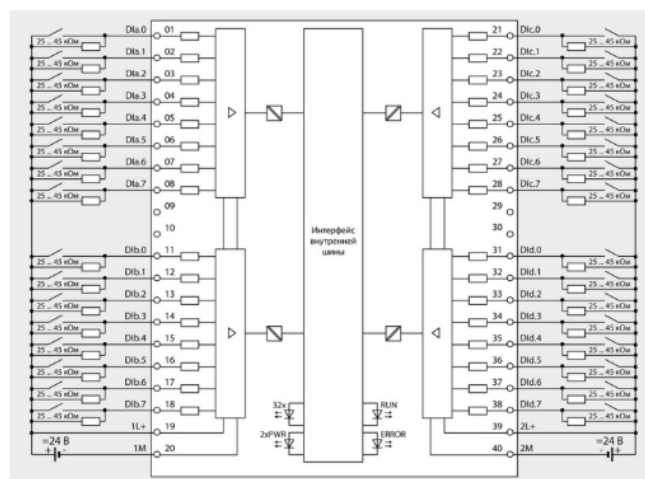
Та модулі розширення **DQ 32x24VDC/0.5A HF (6ES7 522-1BL01-0AB0)**



6ES7 522-1BL01-0AB0 и 6ES7 522-1BL10-0AA0

Рис.5.16- схема підключення модулів розширення DQ 32x24VDC/0.5A HF

DI 32x24VDC BA (6ES7 521-1BL10-0AA0)



6ES7 521-1BL10-0AA0

Рис.5.17- схема підключення модулів розширення DI 32x24VDC BA

AI 4x U/I/RTD/TC/ AQ 2x U/I ST (6ES7 534-7QE00-0AB0)

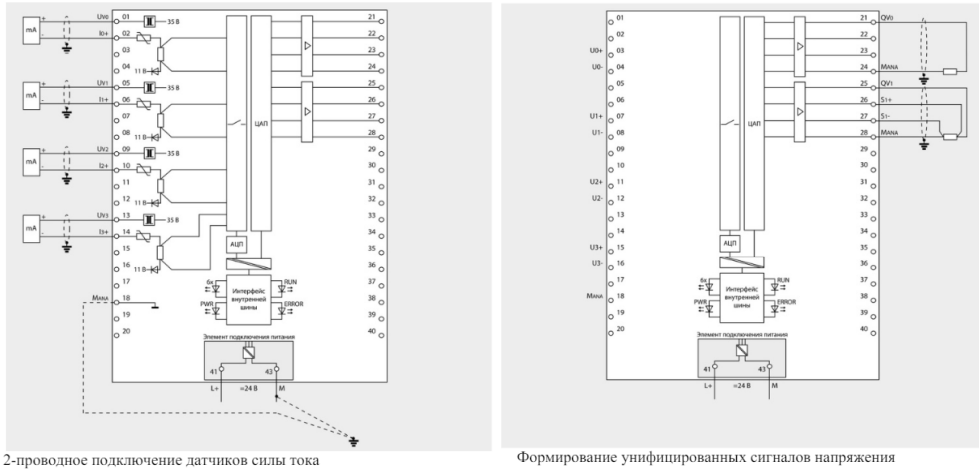


Рис.5.18- схема підключення модулів розширення AI 4x U/I/RTD/TC/ AQ 2x U/I
ST

В якості блока живлення вибираємо PM 1507 AC/DC 120/230V 60W (6EP1333-4BA00)

Характеристики блока живлення

Article number	6EP1333-4BA00
Product	S7-1500 PM1507
Power supply, type	24 V/8 A
Output	
Output	Controlled, isolated DC voltage
Rated voltage V_{out} DC	24 V
Total tolerance, static \pm	1 %
Static mains compensation, approx.	0.1 %
Static load balancing, approx.	0.1 %
Residual ripple peak-peak, max.	50 mV
Spikes peak-peak, max. (bandwidth: 20 MHz)	150 mV
Product function Output voltage adjustable	No
Status display	LED green for 24 V OK; LED red for error; LED yellow for stand-by
On/off behavior	No overshoot of V_{out} (soft start)
Startup delay, max.	1.5 s
Voltage rise, typ.	10 ms
Rated current value I_{out} rated	8 A
Current range	0 ... 8 A
Active power supplied typical	192 W
Short-term overload current	
• on short-circuiting during the start-up typical	35 A
• at short-circuit during operation typical	35 A
Duration of overloading capability for excess current	
• on short-circuiting during the start-up	70 ms
• at short-circuit during operation	70 ms
Parallel switching for enhanced performance	Yes; Parallel switching of 3 A and 8 A possible, devices must be switched on at the same time, max. 75% per device with I-load
Numbers of parallel switchable units for enhanced performance	2

Рис.5.19- Характеристики блока живлення

Блоки живлення навантаження (PM) для програмованих контролерів S7-1500 і станцій ET 200MP. □ Перетворення вхідної напруги 120/230 В змінного струму у вихідну напругу=24 В.

Формування зовнішніх ланцюгів живлення центральних процесорів, інтерфейсних, сигнальних і технологічних модулів, а також системних блоків живлення (PS) програмованих контролерів S7-1500 і станцій ET 200MP.

Відсутність інтерфейсу для підключення до внутрішньої шини S7-1500/ET 200 MP.

Два типорозміри з вихідною потужністю 70 або 190 Вт.

Без підтримки діагностичних функцій

Призначення

Блоки живлення навантаження (PM) призначені для формування вихідної напруги = 24 В, яка може бути використана:

-для живлення центральних процесорів програмованого контролера S7-1500 або інтерфейсних модулів станції ET 200MP;

-для живлення системних блоків живлення (PS) контролерів S7-1500 і станцій ET 200MP;

-для живлення зовнішніх ланцюгів сигнальних і технологічних модулів контролерів S7-1500 і станцій ET 200MP.

В якості панелі оператора обираємо **SIMATIC TP1200 COMFORT (6AV2124-0MC01-0AX0)**



Рис.5.20- загальний вигляд всіх обраних пристроїв

5.4.3 схема технологічної структури та опис контролера

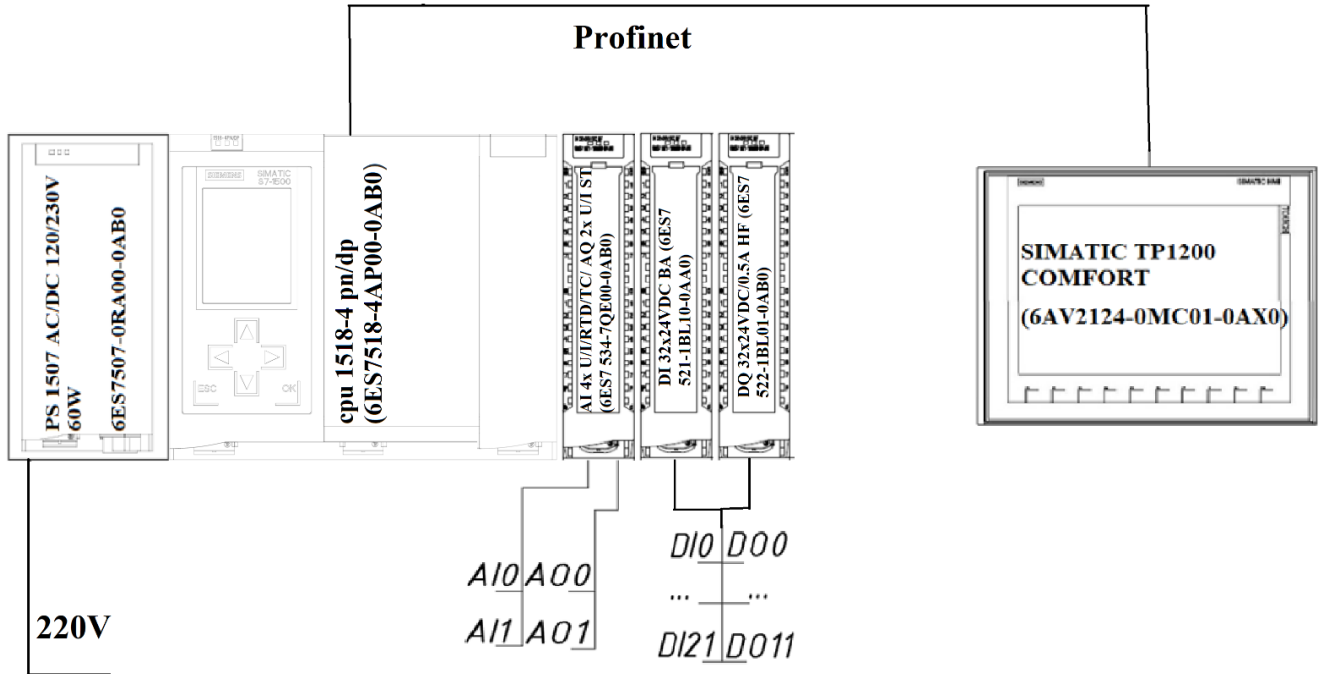


Рис.5.21- схема технологічної структури

Загальний опис контролера

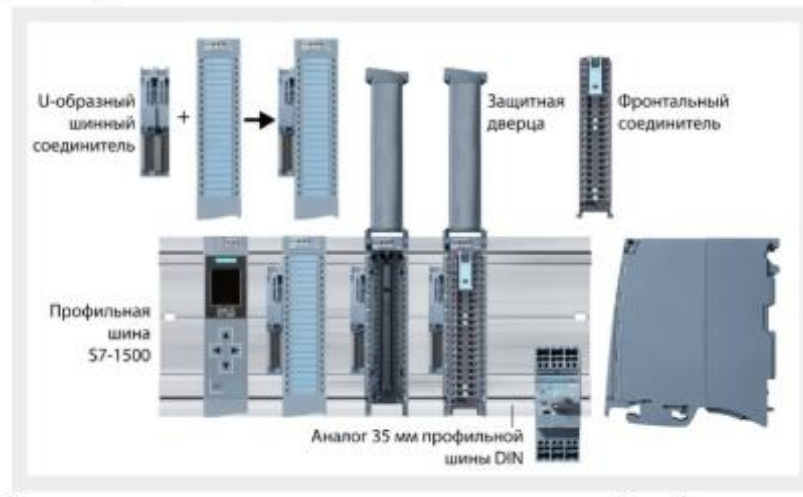


Рис.5.22- загальний вигляд контролера

Програмований контролер S7-1500 має модульну конструкцію і дає змогу використовувати у своєму складі:

- Модуль центрального процесора (CPU), призначений для виконання програми користувача, керування всіма вузлами контролера і компонентами системи розподіленого введення-виведення.
- Сигнальні модулі (SM), призначені для введення і виведення дискретних і аналогових сигналів з різними електричними і часовими параметрами.
- Технологічні модулі (TM), призначені для вирішення завдань швидкісного рахунку, позиціонування, формування імпульсів, зважування тощо. т.д.
- Комунікаційні модулі (CM/CP), призначені для збільшення кількості комунікаційних інтерфейсів контролера та виконання обміну даними через промислові мережі PROFIN. даними через промислові мережі PROFINET, Industrial Ethernet і PROFIBUS, а також через безпосередні з'єднання на основі послідовних інтерфейсів.
- Системні блоки живлення (PS), призначені для живлення електроніки модулів контролера через його внутрішню шину, якщо потужності вбудованого в CPU блока живлення для цієї мети недостатньо
- Блоки живлення навантаження (PM), призначені для підключення до мережі живлення ~120/230 В і формування вихідної напруги =24 В. Однотипні модулі (SM, CM) S7-1500 поділяються на класи, що відрізняються підтримкою різного набору функцій:
 - Модулі класу BA (Basic) відносно прості та недорогі компоненти без діагностики параметрів.
 - Модулі класу ST (Standard) з підтримкою діагностичних функцій на рівні модуля або групи каналів. Клас точності для аналогових модулів дорівнює 0.3 %.

□ Модулі класу HF (High Feature) з підтримкою діагностичних функцій на рівні кожного каналу. Клас точності для аналогових модулів дорівнює 0.1 %.

Підвищена стійкість до впливу перешкод, підвищена міцність електричної ізоляції.

□ Модулі класу HS (High Speed) з малими часами фільтрації сигналів і короткими часом перетворення.

Сигнальні, технологічні та комунікаційні модулі

(СМ PtP) програмованого контролера S7-1500 можуть використовуватися і в станції ET 200MP.

Технічні характеристики

Напруга живлення 24В

Ступінь захисту IP20

Article number	6ES7511-1FK00-0AB0	6ES7513-1FL00-0AB0	6ES7515-2FM00-0AB0	6ES7516-3FN00-0AB0	6ES7517-3FP00-0AB0	6ES7518-4FP00-0AB0
	CPU 1511F-1PN, 225KB PROG, 1MB DATA	CPU 1513F-1PN, 450KB PROG, 1,5MB DATA	CPU 1515F-2PN, 750KB PROG.,3MB DATA	CPU 1516F-3 PN/DP, 1,5MB PROG, 5MB DATA	CPU 1517F-3 PN/DP, 3MB PROG., 8MB DATA	CPU 1518F-4 PN/DP, 6MB PROG, 20MB DATA
Counters, timers and their retentivity						
S7 counter						
• Number	2 048	2 048	2 048	2 048	2 048	2 048
IEC counter						
• Number	Any (only limited by the main memory)	Any (only limited by the main memory)	Any (only limited by the main memory)	Any (only limited by the main memory)	Any (only limited by the main memory)	Any (only limited by the main memory)
S7 times						
• Number	2 048	2 048	2 048	2 048	2 048	2 048
IEC timer						
• Number	Any (only limited by the main memory)	Any (only limited by the main memory)	Any (only limited by the main memory)	Any (only limited by the main memory)	Any (only limited by the main memory)	Any (only limited by the main memory)
Data areas and their retentivity						
Flag						
• Number, max.	16 kbyte	16 kbyte	16 kbyte	16 kbyte	16 kbyte	16 kbyte
Address area						
I/O address area						
• Inputs	32 kbyte; All inputs are in the process image	32 kbyte; All inputs are in the process image	32 kbyte; All inputs are in the process image	32 kbyte; All inputs are in the process image	32 kbyte; All inputs are in the process image	32 kbyte; All inputs are in the process image
• Outputs	32 kbyte; All outputs are in the process image	32 kbyte; All outputs are in the process image	32 kbyte; All outputs are in the process image	32 kbyte; All outputs are in the process image	32 kbyte; All outputs are in the process image	32 kbyte; All outputs are in the process image
Time of day						
Clock						
• Type	Hardware clock	Hardware clock	Hardware clock	Hardware clock	Hardware clock	Hardware clock
Interfaces						
1st interface						
Interface types						
- Number of ports	2	2	2	2	2	2
- Integrated switch	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
- RJ 45 (Ethernet)	Yes	Yes; X1	Yes; X1	Yes; X1	Yes; X1	Yes; X1
Protocols						
- PROFINET IO Controller	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
- PROFINET IO Device	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
- SIMATIC communication	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
- Open IE communication	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
- Web server	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
- Media redundancy	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Рис.5.23- Технічні характеристики

Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом охолодження води. Класи точності вимірюючих пристроїв та їх діапазони. Пристрої мають ступінь захисту IP44 та IP65. Висока якість керування процесом досягається використанням уніфікованих сигналів (0...20 мА, 4...20 мА, 0...10 В), в деяких випадках, також використовуються дискретні сигнали.

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

6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж

Вибираємо в середовищі програмування TIAportal тип контролера та панелі оператора відповідно до 5 розділу, визначаємо структуру і параметри мережі обміну інформацією.

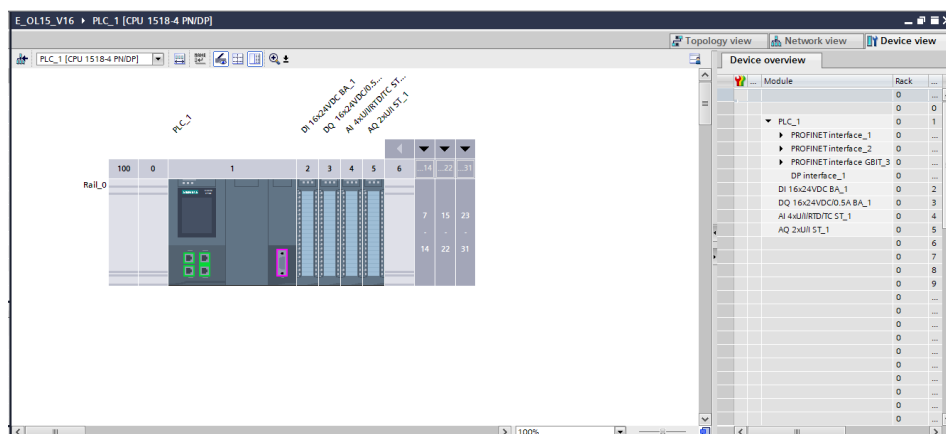


Рис.6.1–Вікно з прикладом вибору контролера та конфігурація модулів.

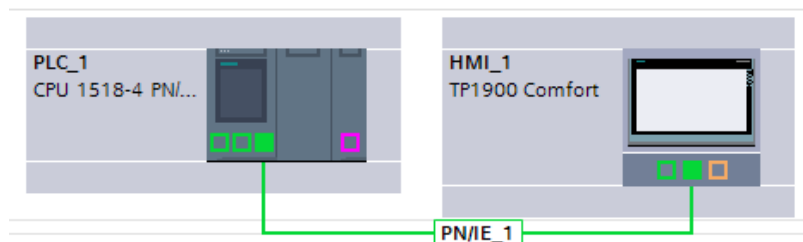


Рис.6.2– Приклад вікна встановлення параметрів мережі обміну інформацією

Далі відповідно до розділу 5 вибираємо в середовищі TIA портал блоки дискретних на аналогових входів та виходів (рис 6.1) Далі проводимо конфігурацію обраних модулів,визначаючи імена змінних вхідних та вихідних сигналів (теги) (див. рис. 6.3 , 6.4, 6.5, 6.6) та проводячи вибір типу сигналів (рис. 6.7 6.8) а саме, для вхідних аналогових сигналів 4-20mA для вихідних 0-10V

DQ 16x24VDC/0.5A BA_1 [DQ 16x24VDC/0.5A BA]				
General	IO tags	System constants	Texts	
	Name	Type	Address	Tag table
	bOut_Valve	Bool	%Q0.0	Default tag table
	bOut_Glikol	Bool	%Q0.1	Default tag table
	bOut_Water	Bool	%Q0.2	Default tag table
	bOut_Dry	Bool	%Q0.3	Default tag table
	bOut_support...	Bool	%Q0.4	Default tag table
	bOut_sign	Bool	%Q0.5	Default tag table
	Output7	Bool	%Q0.6	Default tag table
	Output8	Bool	%Q0.7	Default tag table
	Output9	Bool	%Q1.0	Default tag table
	Output10	Bool	%Q1.1	Default tag table
	Output11	Bool	%Q1.2	Default tag table
	Output12	Bool	%Q1.3	Default tag table
	Output13	Bool	%Q1.4	Default tag table
	Output14	Bool	%Q1.5	Default tag table
	Output15	Bool	%Q1.6	Default tag table
	Output16	Bool	%Q1.7	Default tag table

Рис.6.3– привязка тегів до модуля DQ

DQ 16x24VDC/0.5A BA_1 [DQ 16x24VDC/0.5A BA]				
General	IO tags	System constants	Texts	
	Name	Type	Address	Tag table
	bOut_Valve	Bool	%Q0.0	Default tag table
	bOut_Glikol	Bool	%Q0.1	Default tag table
	bOut_Water	Bool	%Q0.2	Default tag table
	bOut_Dry	Bool	%Q0.3	Default tag table
	bOut_support...	Bool	%Q0.4	Default tag table
	bOut_sign	Bool	%Q0.5	Default tag table
	Output7	Bool	%Q0.6	Default tag table
	Output8	Bool	%Q0.7	Default tag table
	Output9	Bool	%Q1.0	Default tag table
	Output10	Bool	%Q1.1	Default tag table
	Output11	Bool	%Q1.2	Default tag table
	Output12	Bool	%Q1.3	Default tag table
	Output13	Bool	%Q1.4	Default tag table
	Output14	Bool	%Q1.5	Default tag table
	Output15	Bool	%Q1.6	Default tag table
	Output16	Bool	%Q1.7	Default tag table

Рис.6.4– привязка тегів до модуля DI

AI 4xUI/IRTD/TC ST_1 [AI 4xUI/IRTD/TC ST]				
General	IO tags	System constants	Texts	
	Name	Type	Address	Tag table
	A_In1	Int	%IW2	Default tag table
	A_In2	Int	%IW4	Default tag table
	A_In3	Int	%IW6	Default tag table
	A_In4	Int	%IW8	Default tag table

Рис.6.5– привязка тегів до модуля AI

AQ 2xUI ST_1 [AQ 2xUI ST]				
General	IO tags	System constants	Texts	
	Name	Type	Address	Tag table
	A_Out1	Int	%QW2	Default tag table
	A_Out2	Int	%QW4	Default tag table

Рис.6.6– привязка тегів до модуля AQ

Конфігурація аналогових модулів входу та виходу

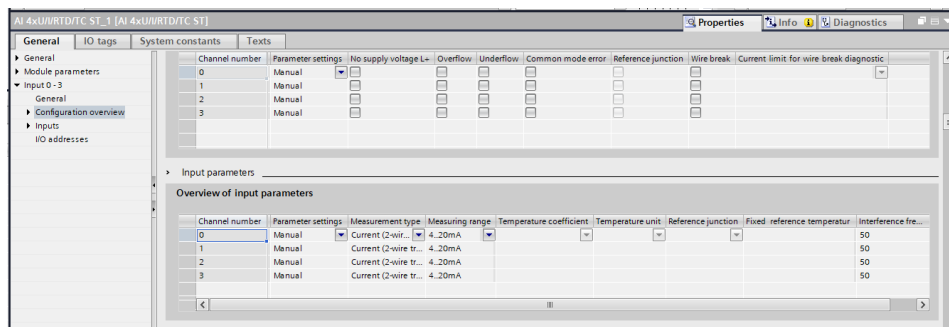


Рис.6.7– вибір типу сигналу для аналогового входного модулю

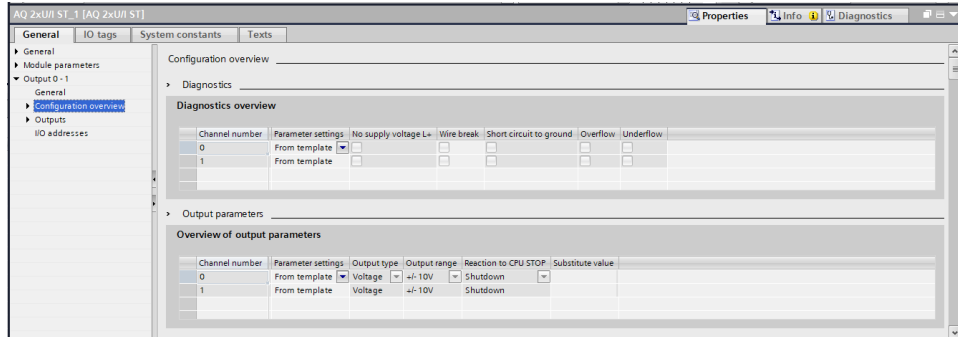


Рис.6.8– вибір типу сигналу для аналогового вихідного модулю

6.2. Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування

Алгоритми логічного керування які були розроблені в розділі 4 отримали свою програмну реалізацію в програмах (функціональних блоках) «fb_proc» та «auto_run». «fb_proc» провидить опиту стану типового обладнання (електроприводів, клапанів і т.і), в якій використовуються типові блоки «TIA portal open_library_V15» Фрагменти програми «fb_proc» наведені на рисунку 6.9

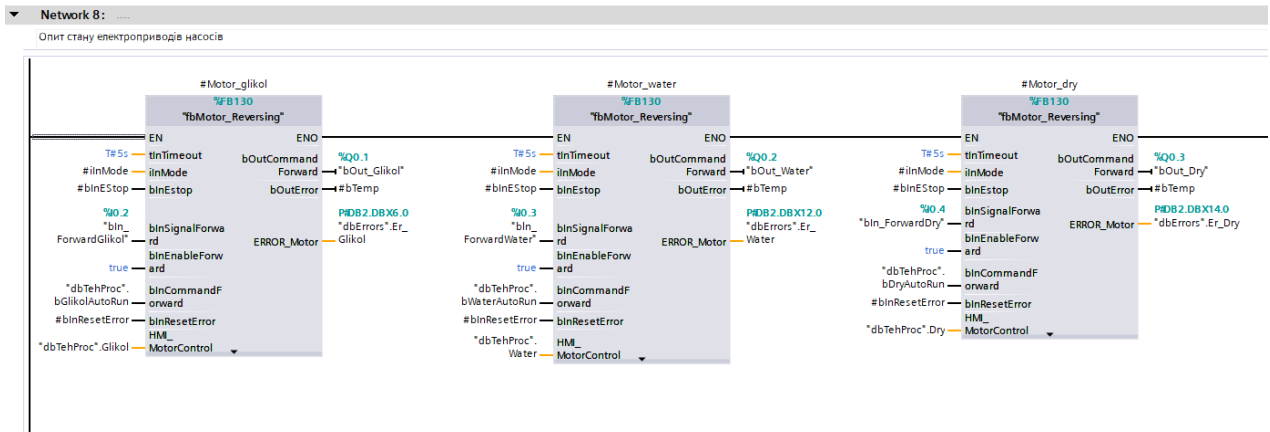


Рис.6.9– Фрагмент програми«fb_proc», опиту стану електродвигунів

Аналогічно проводиться опит стану регулюючих клапанів. За результатом опиту станів формуються змінні bOutAuto та bOutError які будуть використані при роботі програми «auto_run» (рис 6.10)

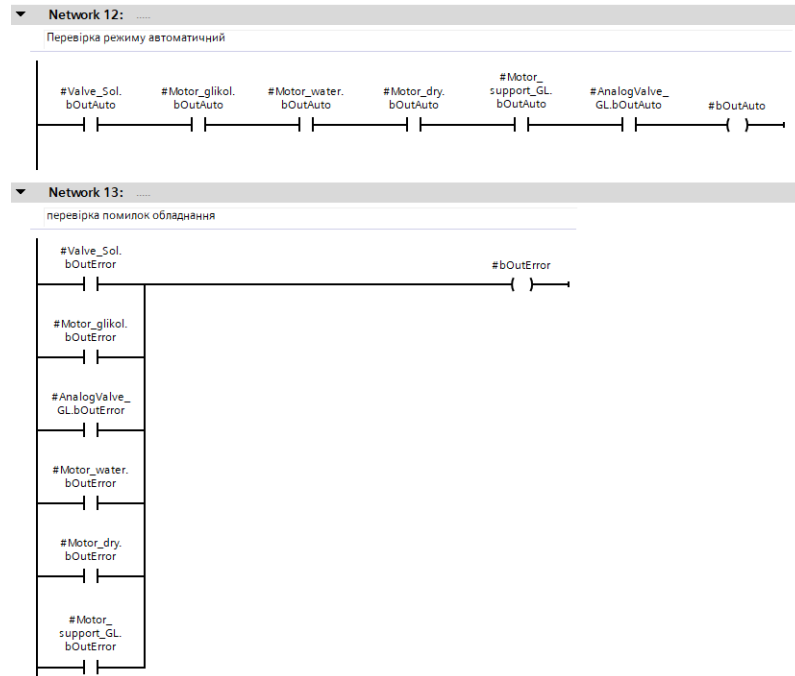


Рис.6.10– фрагмент підпрограми «fb_грос», яка перевіряє чи знаходиться обладнання в режимі «автоматичний» та наявність помилки.

Далі розробляємо програму «AutoRun» відповідно до алгоритмів які були представлені в 4 розділі

Фрагмент програми яка вмикає сигналізацію за запуск електродвигуна сухих охолоджувачів представлений на рис 6.11, по команді «AutoRun» сигнал приходить на «timer2», та через 7 с. надходить на триггер який вмикає електродвигун.

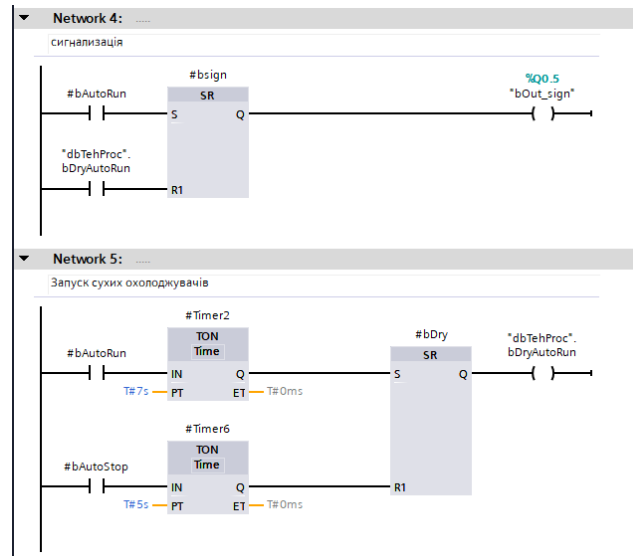


Рис.6.11– предпускова сигналізація за запуск електродвиуна сухих охолоджувачів

На рис 6.12 підпрограми «auto_run» розглянуто включення ПІД регулятора для контуру температури гліколю та умову включення насосу при досягнені певної температури.

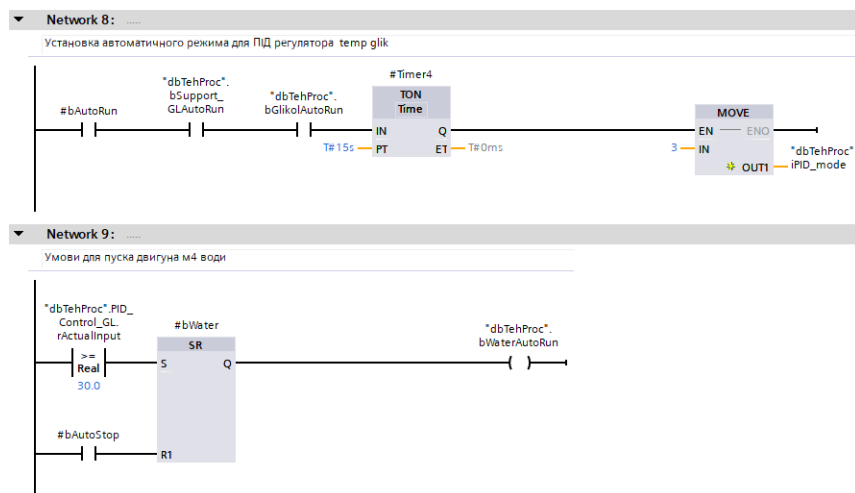


Рис.6.12– умови влючення ПІД регулятора та умова вмикання двигуна М4

На рис.6.13 представлен фрагмент схеми який реалізує установку ручного режиму для ПІД регулятора контуру води,гліколю. Та запише режим роботи регулятора.

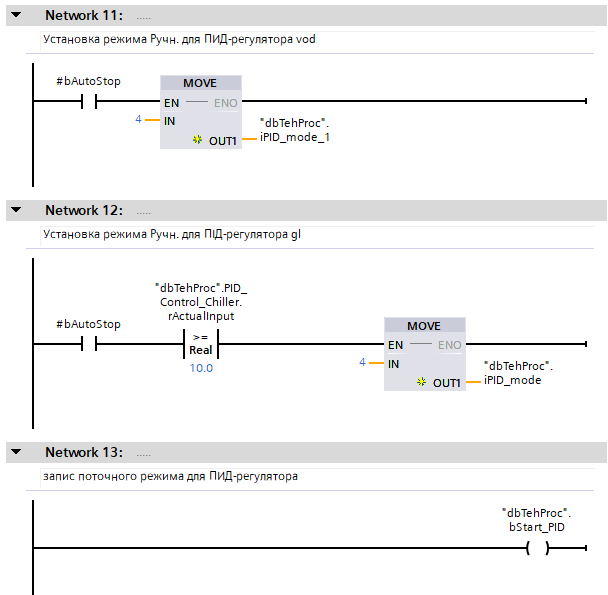


Рис.6.13– Уст. Ручного режиму ПІД регулятора та запис режиму ПІД регулятора
Проводимо тестування програми логічного керування із використанням засобів емуляції контролера.

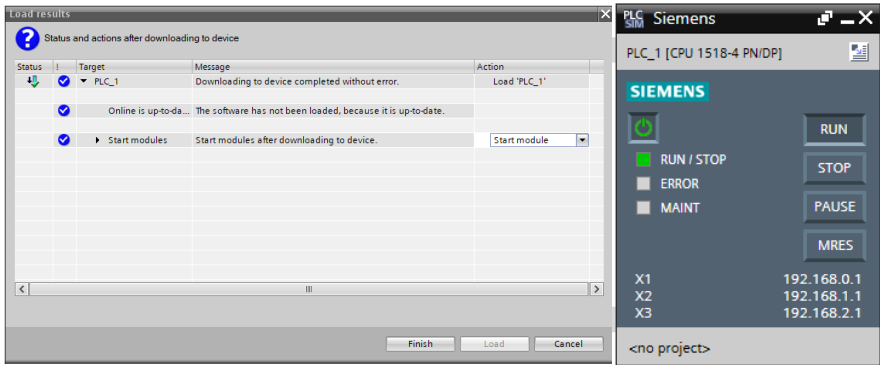


Рис.6.14– загрузка програми в контролер та її перевірка

6.3. Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання

Модель ОР та алгоритми регулювання були розроблені в розділі 2 та 3. У середовищі «TIAportal» проводимо їх програмну реалізацію.

Розробляємо підпрограму «fb_SAR», в якій моделі ОР реалізовані із використанням підпрограм (функціональних блоків) типових динамічних ланок із

бібліотеки LSIM.

На рис 6.15, 6.16, 6.17 наведені фрагменти програми «fb_SAR»

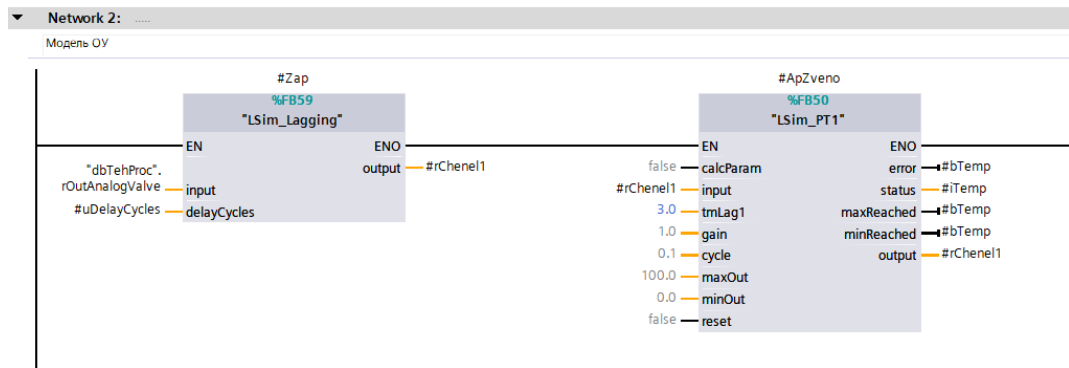


Рис.6.15—звено запізнення та аперериодичне звено 1-го порядку

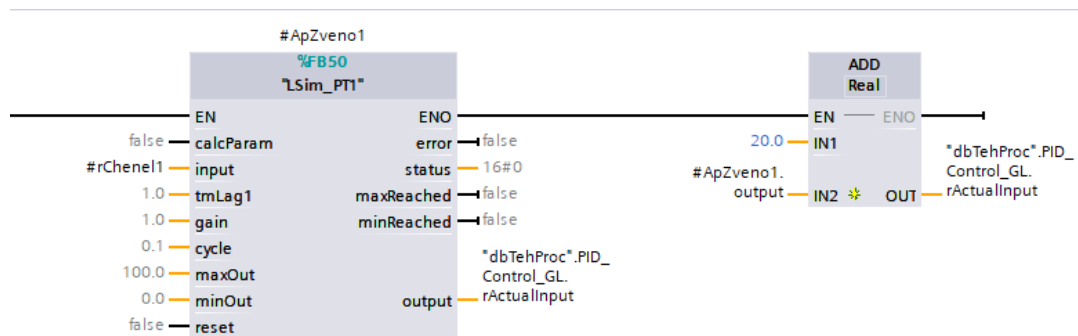


Рис.6.16— аперериодичне звено 2-го порядку та суматор

В підпрограммі «fb_SAR» функціональний блок ПІД регулятора (рис 6.17) був релізований з використанням бібліотечного блоку «fbPID_Compact»

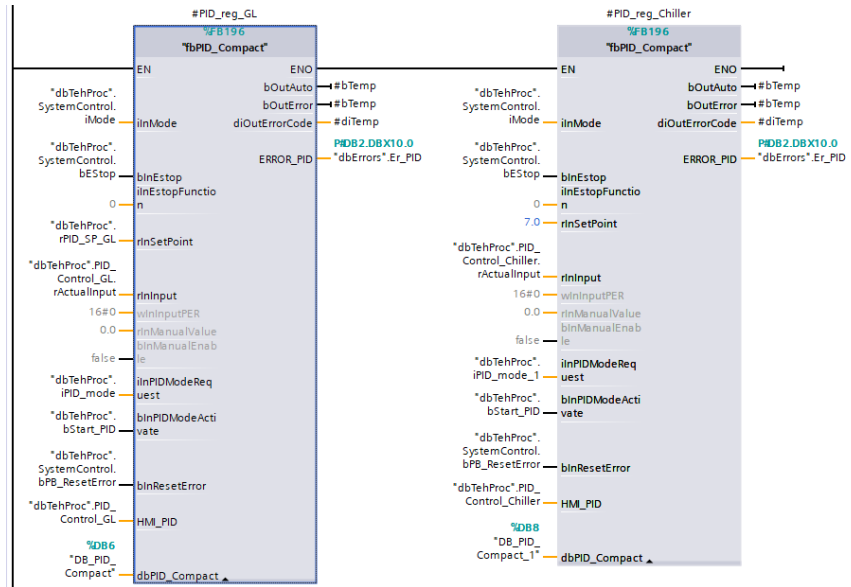


Рис.6.17– блок ПІД регулятор «fbPID_Compact»



Рис.6.18– перевірка на працездатність

6.4 Висновки за розділом

В даному розділі було проведено розробку контролерно-комп'ютерної мережі та програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК. Проведене в режимі емуляції тестування програми підтвердило правильність роботи програми, відповідно до вимог алгоритму керування

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

7.1. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога

АРМ оператора-технолога має передбачати можливість виконання оператором наступних функцій:

- контролювати значення технологічних параметрів процесу і задавати режими керування;
- контролювати стан технологічного обладнання (ввімкнено, вимкнено, знаходиться в аварії тощо) і значення експлуатаційних параметрів обладнання;
- керувати запуском і зупинкою ТА в ручному та автоматичному режимах керування;
- контролювати виникнення порушень в роботі обладнання і оперативно реагувати на них;

- формувати звіти за архівними даними для служб головного технолога, механіка та енергетика.

7.2. Розробка екранів АРМ оператора-технолога

- Схема установки. Основний екран із зображенням мнемосхеми технологічного процесу, який дозволяє контролювати хід ТП, керувати станом ТА, змінювати задані режими його роботи, контролювати виникнення порушень в роботі обладнання. У оператора є можливість перемикання між екранам Alarms, Help, reset error. Оператор може здійснювати як автоматичний пуск, останов та керувати станом обладнання в ручному режимі.

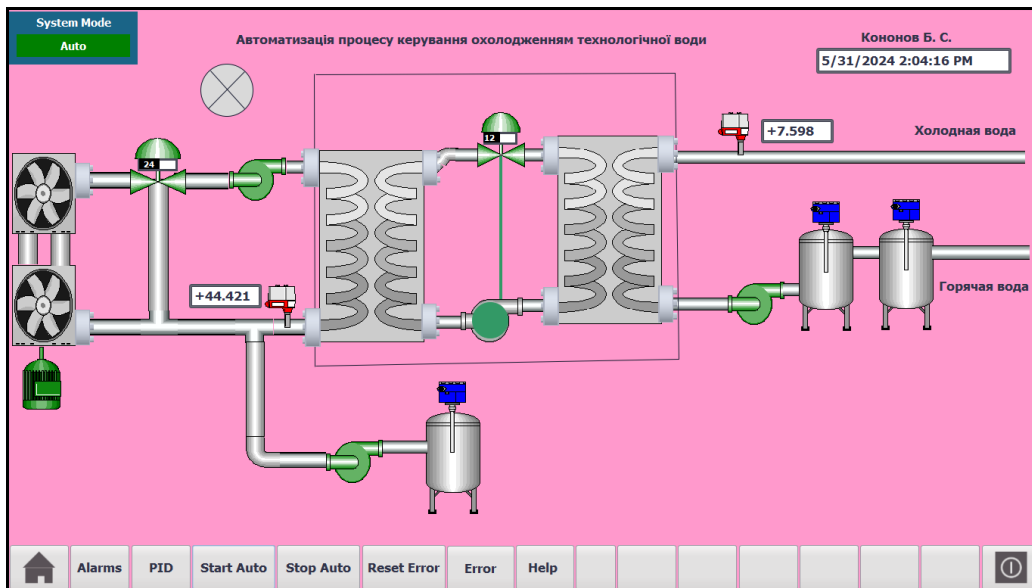


Рис.7.1– Головний екран АРМ

Вспливаюче вікно Sistem дозволяє змінювати режими роботи обладнання автоматичний пуск, останов або керувати станом обладнання в ручному режимі



Рис.7.1– вибір режиму роботи

Всі необхідні екранні форми, які відповідають функціональним блокам для типового обладнання беремо з бібліотеки «TIA Portal open Library V15» (рис 7.3)

Для інших компонентів обладнання використовуємо бібліотеку ISA Symbols 3d яка входить до складу TIA portal (рис.7.4)

<p>Рис.7.3– бібліотека компонентів функц. Блоків</p>	<p>Рис.7.4– бібліотека стандартних графічних компонентів</p>

Конфігурування стандартних елементів з бібліотеки «TIA Portal open Library V15»

представлена на наступних рисунках а саме іконки (icons) та вспливаючі вікна (Pop-UP screens) 7.5-7.8

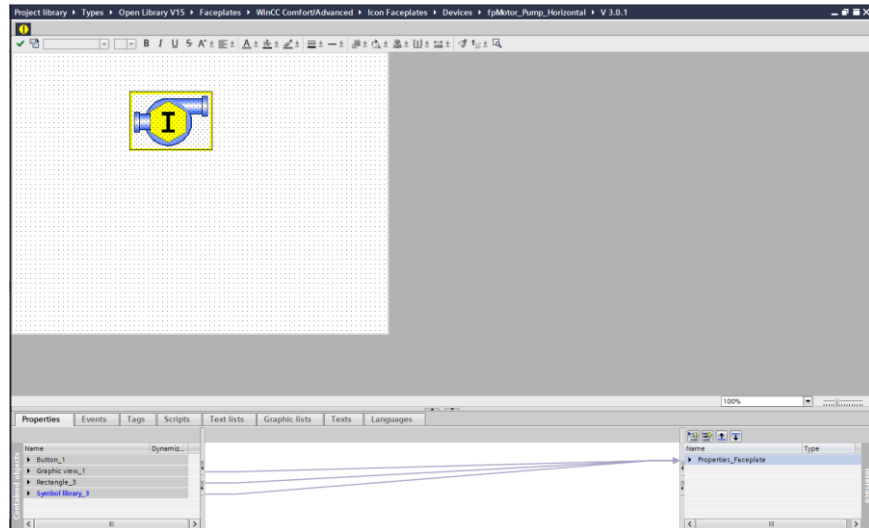


Рис.7.5– елемент «fpMotor_Pump» icons

Переносимо елемент з бібліотеки на екран АРМ та розташовуємо його вибираючи координати розташування рис 7.6

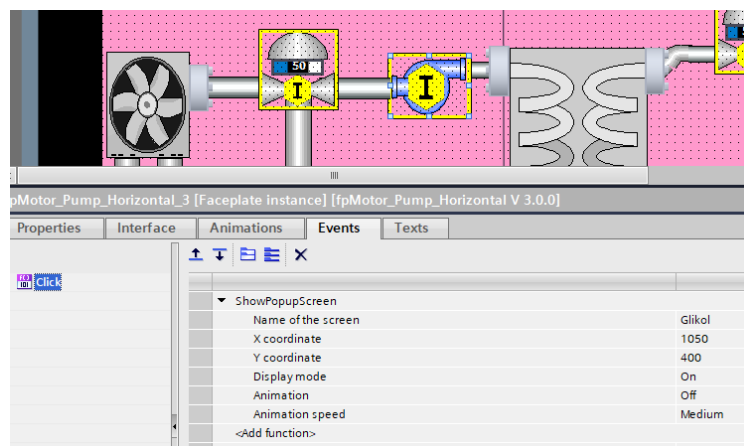


Рис.7.6– вибір координат розташування

Зв'язок між елементами відображеннями та функціональними блоками в програмі контроллера здійснюється за рахунок прив'язки тегів на вкладці «Interface»

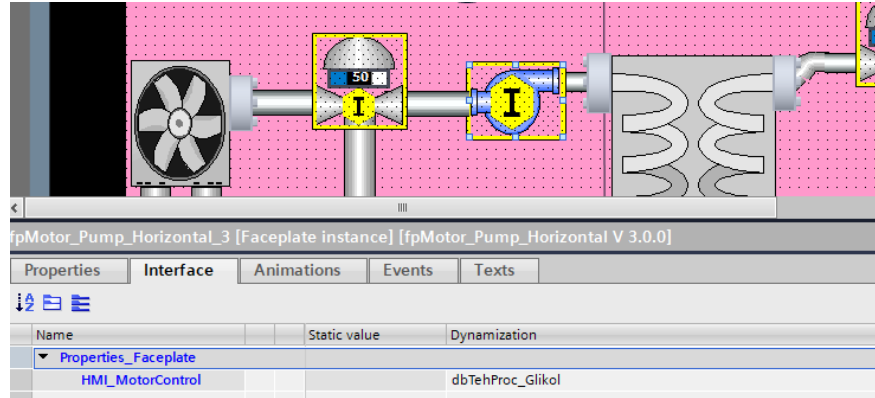


Рис.7.7– прив'язка елемента Pump до HMI тегів

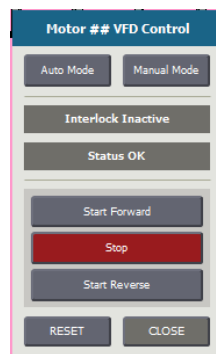


Рис.7.8– впливаюче окно елемента «fpMotor_Pump»

Для виводу повідомлень про помилки обладнання було розроблено вікно Alarms в якому застосовано стандартний компонент бібліотеки LSIM «Trend view»

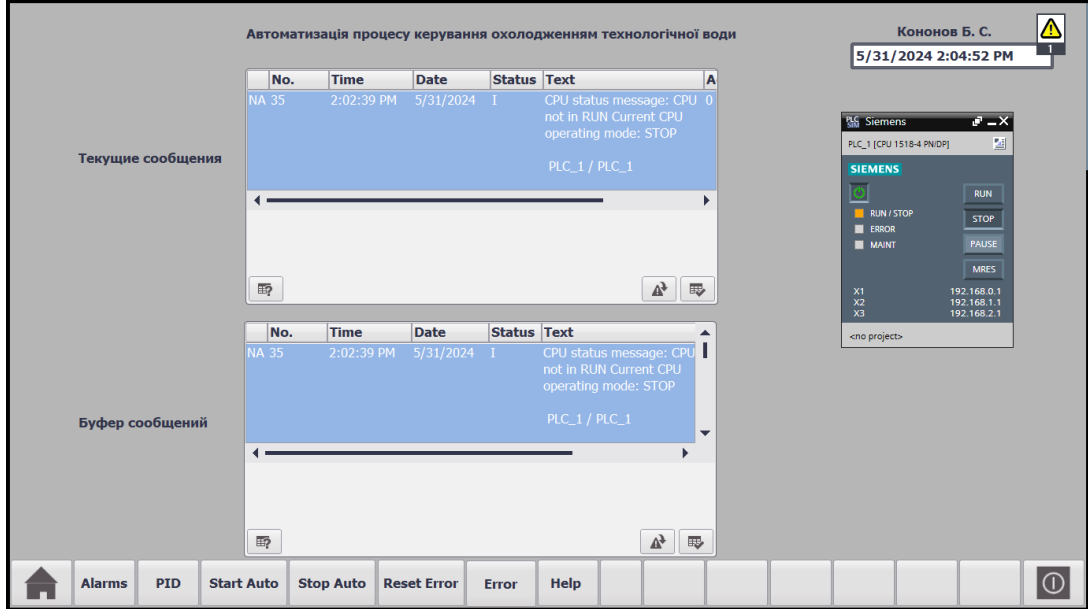


Рис.7.9– окно Alarms та реакція на помилку

Для оператора-технолога який не знайомий з умовними позначеннями призначений екран Help який викликається необхідною кнопкою

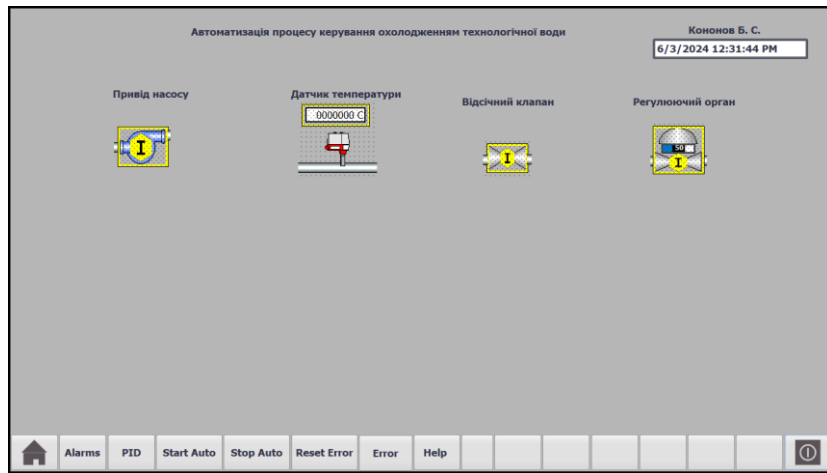


Рис.7.10– екран допомоги

Перевіряємо роботу програми в ручному режиму роботи

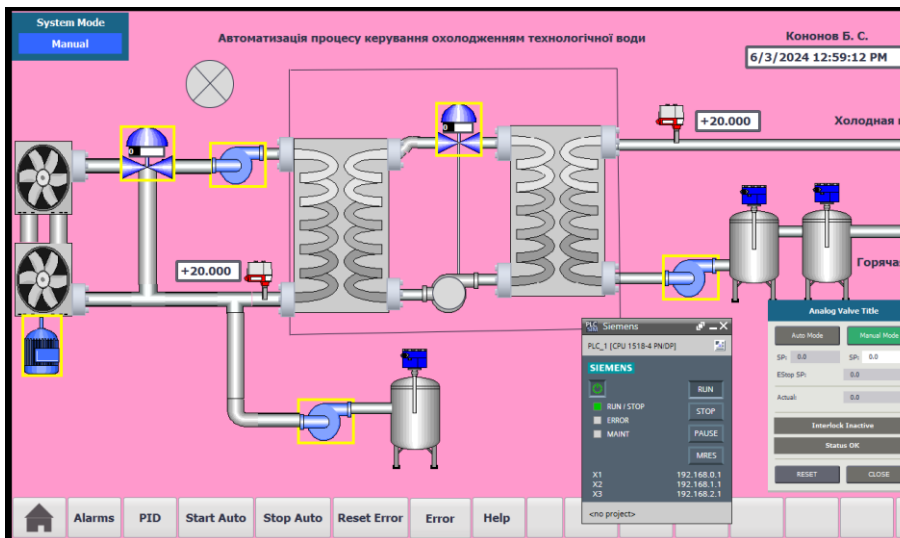


Рис.7.11– перевірка роботи

7.3. Конкретизація функцій та структури екранів АРМ наладчика САК

АРМ наладчика САК має передбачати можливість виконання оператором наступних функцій:

- налаштовувати контури регулювання (налаштовувати параметри регуляторів, тестувати роботу контурів регулювання);
- задавати значення затримок часу для таймерів, що використовуються в алгоритмах пуску і зупинки;
- задавати значення затримок часу для спрацьовування датчиків;
- задавати граничні значення технологічних параметрів;
- виконувати адміністрування користувачів системи;
- виконувати аналіз системних повідомлень.

Обґрунтовуємо перелік екранів АРМ наладчика САК.

При реалізації АРМ наладчика САК були передбачені наступні екрани:

- Налаштування САК. Екран призначений для налаштування параметрів регуляторів, завдання затримок часу для спрацьовування датчиків та правильної роботи алгоритмів автоматичного пуску та зупинки, завдання граничних значень технологічних параметрів

7.4. Розробка екранів АРМ наладчика САК

Для розробки були використані впливаючі вікна для функціонального блоку ПІД регулятора та компонент trend_1 для виводу графіків перехідного процесу та для зміни заданого значення.

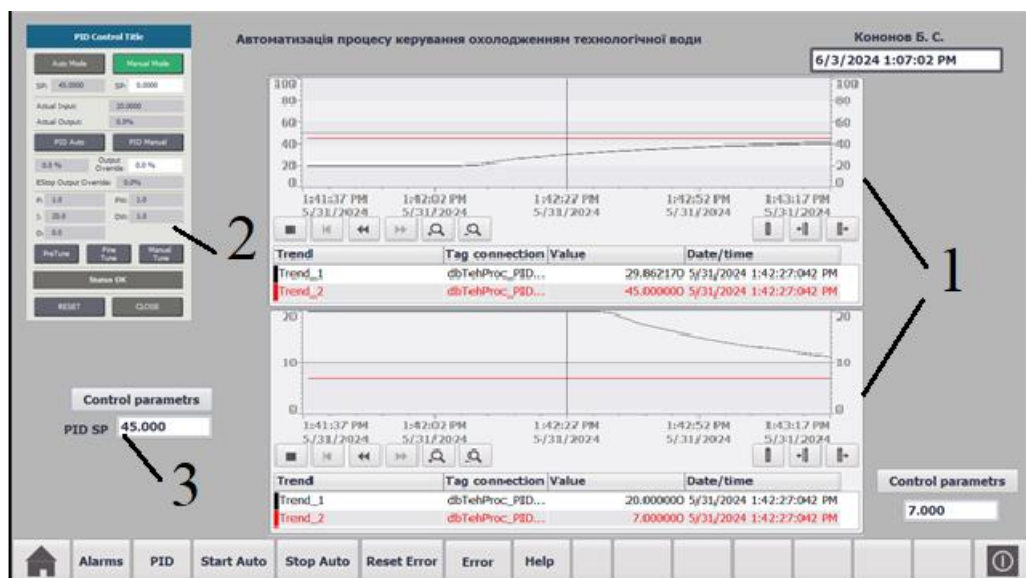


Рис.7.12– Екран наладчика САК

Для наладчика САК були розроблені наступні вкладки :

- 1- графіки перехідних процесів
- 2- екран для встановлювання параметрів ПІД регулятора
- 3- екран для завдання граничних значень технологічних параметрів

Процес створення впливаючого вікна графічного інтерфейсу АРМ наладчика САК у SCADA системі, готові впливаючі окна беремо з бібліотеки «TIA Portal open Library V15» Інтерфейс цього впливаючого вікна прив'язан до ШМІ тегів (рис 7.17)

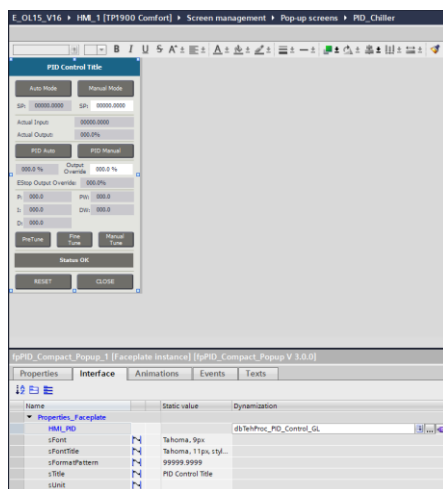


Рис.7.13– Екран налаштування ПІД регулятора

Встановлюємо елемент вводу-вивода заданого значення для параметрів технологічного процесу з бібліотеки«TIA Portal open Library V15» вик елемент такої-то на рис 7.19 показана прив'язка до відповідного тегу.

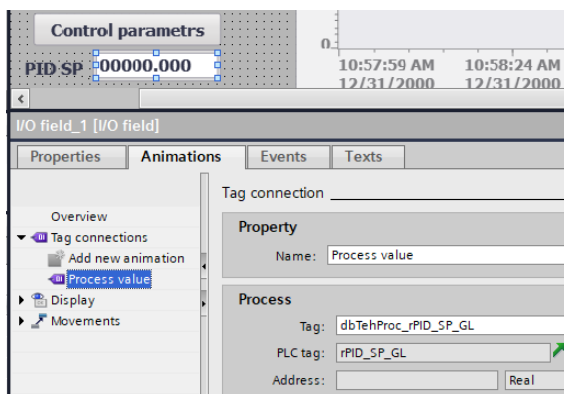


Рис.7.14– Окно для завдання заданого значення

Для вивода графіків перехідного процесу використано компонент Trend з бібліотеки «TIA Portal open Library V15» та прив'язуємо його до ШМІ тегів

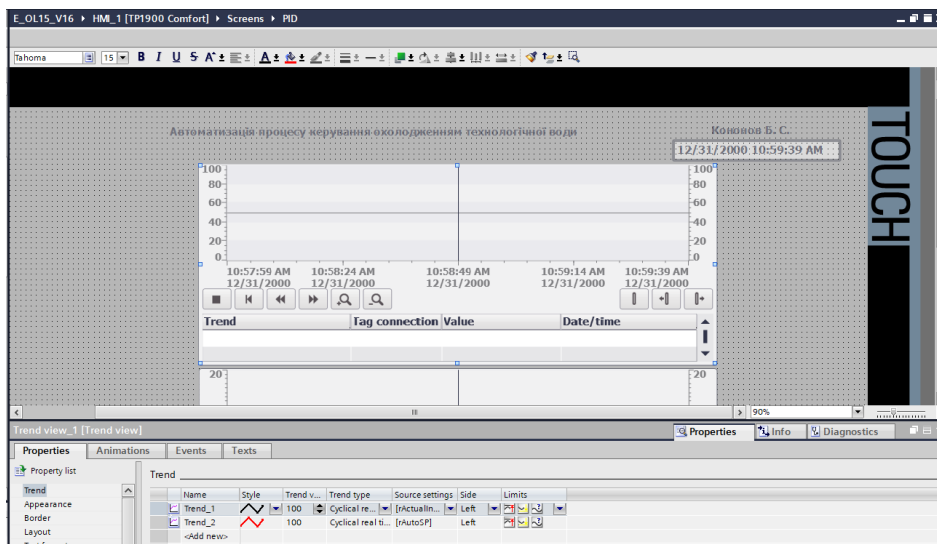


Рис.7.15– Окно для графіків та прив'язка до тегів

7.5 Висновки до розділу

При виконанні самостійної роботи в середовищі TIA Portal розроблено програмне забезпечення АРМ оператора-технолога процесу охолодження води. АРМ дозволяє контролювати хід технологічного процесу, задавати режими роботи, здійснювати перемикання режимів управління обладнанням (АВТ / РУЧ) і управляти в ручному режимі окремим обладнанням. Відображати динаміку зміни технологічних параметрів, вести журнали подій.

8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці

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

Об'єктом керування є холодильна установка. Це тепло-масо-обмінні процеси, які забезпечуються підведенням теплоносія(гліколю) заданої температури: 40*С на вході та 45 на виході. Початкова температура води від споживача 12-15*С, температура охолодженої води 7*С .

Я вибрав 2 щита: щит автоматики(SA) та силовий щит(SS) . В шафі автоматики розташовані модулі вводу-вивода, контроллер, блок живлення та панель оператора. В силовій шафі пускачі електродвигунів.

За результатами вибору КТС й відповідно до складеної технічної структури, розроблений комплект проектної документації на систему керування згідно до [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Комплект включає графічні та текстові документи:

графічні:

- 1 – схему автоматизації;
- 2 – схему аналогових входів-виходів
- 3 – принципову електричну схему живлення;
- 4 – схему дискретних входів

5 – схему дискретних виходів

6 – таблицю зовнішних проводок;

текстові:

— специфікації до всіх графічних документів;

– пояснювальна записка до проекту.

8.2. Розробка схеми автоматизації та специфікацій на технічні засоби системи ФСА виконуємо відповідно до ВИМОГ ДСТУ 2008 [10]

В функціональній схемі реалізовані наступні контура:

- Контроль стану двигуна сухих охолоджувачів
- Контроль двигунів насосів гліколю М2 та М3, М4- двигун насоса подачі води
- Контур регулювання обертів двигуна М5 компресора холодильної установки
- Контроль та керування відсічного клапану гліколю до конденсатора
- Контроль та керування відсічного клапану накопичувача гліколю
- Контроль та керування відсічного клапану гліколю з теплообмінника зим.реж.
- Контроль та керування відсічного клапану води з теплообмінника зим.реж.
- Контроль та стабілізація температури гліколю
- Захист за зниженим тиском всмоктування КМ1
- Захист за температурою на вході компресора КМ1
- Контроль тиску мастила в компресорі КМ1
- Захист за підвищеним тиском нагнітання КМ1
- Захист за температурою на виході КМ1
- Захист за зниженим тиском всмоктування КМ2
- Захист за температурою на вході компресора КМ2

- Захист за підвищеним тиском нагнітання КМ2
- Захист за температурою на вході компресора КМ2
- Контроль рівня води в буферних накопичувачах
- Контроль рівня гліколю в накопичувачах
- Сигналізація за аварійними параметрами
- Перетворення інтерфейсів

Розглянемо для прикладу функціонування контур регулювання температури гліколю. Температура гліколю від датчика 12а в вигляді нормованого сигналу потрапляє на аналоговий вхід контролера, який видає керуючий сигнал, що направляє на вик механізм 12б

Креслення ФСА наведено в додатку А

Таблиця 8.1 специфікація на технічні засоби автоматизації

№ п / п	позначення	Найменування, характеристика	Тип	Кіль.
1	2	3	4	5
1	23-25а	Ємнісний датчик-реле рівня 12-24В	CLS-23N	3
2	40-43а	Термометр 1/4", діам 35 мм, 0-80С	горизонтальний, занурювальний	4
3	48а	Термометр°С: -50...+50	ТКП-100М1	1
4	44-47а	Bimetal thermometer SUKU, D 100, L 100,0-40 °С	C31.000112	4

5	33a-37a	Манометр Shine Year Діаметр манометра 80 мм. Кл. точ. 1		5
6	27a-32a 38a, 39a	0-6 BAR D-63MM ¼ Кл.точн. 1.6	Манометр радіальний	8
7	6a,12a	клас точності 0.2 ступінь захисту IP54 - 50-100	TSP-U-1-3H- Pt1000-80-6	2
8	15a,18a,20a,22a	-45--15 °C 2 м IP66	Датчик-реле температури RT 9	4
8	14a,17a,19a,21a	8...32 бар -40 - 65 °C IP44	KP5 060-117166	4
9	16a	Реле контролю мастила Danfoss MP 54	060B016866	1
10	126	Електропривод сідельного клапана Belimo 0-10B	GV12-24-SR-T	1
11	56	Частотний перетворювач Danfoss	VLT HVAC Drive FC- 102 450 кВт - 131B74	1
12	7a-11a	Електромагнітний клапан 24В 7бар 7Вт	2P025-08	5
13	-	Контроллер Siemens сru 1518-4 рп/др	6ES7518-4AP00- 0AB0	1
14	-	Модулі дискретних виходів	6ES7 522- 1BL01-0AB0	1
15	-	Модулі дискретних виходів	6ES7 521- 1BL10-0AA0	1
16	-	Комбінований модуль аналогових вх. Вих.	6ES7 534- 7QE00-0AB0	1
17	-	Блок живлення 24в 60W	6EP1333- 4BA00	1

18	-	Перетворювач інтерфейсів		1
----	---	--------------------------	--	---

8.3. Розробка принципів схем

Були розроблені наступні принципові схеми керування:

- схема підключень дискретних входів (додаток В)
- схема підключень дискретних виходів (додаток Г)
- комбінована схема аналогових входів-виходів (додаток Б)

На принципових електричних схемах показані елементи, які виконують строго певну функцію і які не можуть бути розділені на частині []. Ця схема дає уявлення за допомогою графічних зображень і позначень про послідовність роботи електричних приладів й елементів для досягнення поставлених функціональних завдань.

На схемі підключень дискретних входів зображені дискретні вхідні сигнали від: електродвигунів, клапанів, датчиків-реле рівня та захисту.

На схемі підключень дискретних виходів зображено підключення пристроїв які потребують керування та зміну свого стану.

На схемі підключень аналогових виходів-виходів зображен комбінований модуль 2AI-4AO для неперервного керування частотним перетворювачем та 3-х ходовим клапаном з уніфікованим сигналом 0-10В.

8.4. Розробка схем живлення

Схема електрична принципова живлення (додаток Д) розробляється з урахуванням необхідності безперебійного живлення найбільш відповідальних споживачів системи автоматизації електроенергією, зокрема контролера МПК й

ПК. Крім того, для живлення ПК, МПК, через джерело безперебійного живлення, доцільно виконати індивідуальну лінію заземлення. Це є вкрай важливим і відповідальним, тому що від цього буде залежати надійна робота програмного забезпечення системи контролю й управління, що реалізована на них. На схемі представлено електроживлення приладів, перетворювачів, ПК і контролера.

Живлення контролера й датчиків, розташованих по місцю здійснюється від блоків живлення «Siemens» 6EP1333-4BA00 . Живлення щитових приладів (панелі оператора) здійснюється окремим блоком живлення, для живлення схеми керування, сигналізації та датчиків здійснюється напругою 24 В.

Живлення комплексу ПК та контролера здійснюється напругою 220 В. Всі ланцюги живлення (220В) приладів захищені автоматичними вимикачами, установленими в силовому щиті.

8.5. Розробка схем компонування технічних засобів у щиті або шафі.

Складання креслення загального виду щита оператора АРМ

Загальний вид щита контролю та керування наведено в додатку 3 . Для реалізації функцій дистанційного контролю та керування був обраний щит SCHROFF CONCEPTLINE EMC 700x700 x250 мм, IP66. На фасадній панелі щита керування встановлені апаратура контролю, сигналізації, органи керування (панель оператора).

На панелі щита вирізані отвори для встановлення відповідних приладів. Позначення приладів (тумблерів, кнопок, світлосигнальних елементів, перемикачів) погоджено зі специфікаціями для схеми автоматизації, ПЕС та схеми електроживлення.

Кожний тип апаратури пронумерований для складання переліку складових частин, який наведений у додатку. Написи у рамках щита наведені на листі.

Креслення виконані відповідно до вимог ЕСКД із зазначенням розмірів згідно до правил зображення [7, 8, 9]. Лист креслення виконаний у масштабі 1:___ відображає вид на фасадну площину щита оператора вид на внутрішні площини щита: передню, ліву, праву та задню стінку. Креслення супроводжені примітками для виконання виробу.

Контролер (МПК) встановлений на профільній шині (122мм) на монтажній панелі (задня стінка).

8.6. Розробка монтажних схем або таблиць з'єднань у щиті оператора

Були розроблені таблиці з'єднань в щиті оператора які представлені в додатку Е

8.7. Розробка схем або таблиць з'єднань зовнішніх електричних і трубних проводок та компоновання робочого місця оператора-технолога

Були розроблені таблиці зовнішніх з'єднань які представлені в додатку Ж

Тип проводки: двухжильний сигнальний кабель 1мм² на 24в марки

Кабель управління екранований 2х1.5 негорючий мідний гнучкий двожилий багатодротяний жила перетином 1.5 кв. мм (зовнішній діаметр 6.8 мм) в екрані з мідного плетіння

Конструкція:

- Дві жили
- Мідна жила 5 класу гнучкості 5 класу гнучкості 5 класу гнучкості
- Ізоляція жил: ПВХ пластикат ТІ2 не підтримує горіння
- Роздільна плівка з поліестеру
- Екран: мідне плетіння

- Зовнішня ізоляція: мідне плетіння: ПВХ пластикат ТМ2, що не підтримує горіння

Колір зовнішньої ізоляції: сірий

Технічні характеристики:

- Номінальна напруга: 450/750В

- Робоча температура: до 70С

8.8. Охорона праці

Загальні положення

Персонал, обслуговуючий лінію, має бути навчений, знати пристрій і устаткування холодильної установки, виконувати вимоги інструкції і вимоги сьогоденних правил. Запуск лінії з охолодження води після тривалої зупинки або після ремонту повинен виконуватися у присутності начальника ділянки.

Перелік потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Так як розробляється система керування, мета якої забезпечити стабільне охолодження води без аварій та шкідливих наслідків для оператора, то потрібно ідентифікувати потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що можуть виникнути при експлуатації цієї установки. Наведемо їх граничнодопустимі концентрації з посиланням на нормативні акти, в яких вони встановленні, та зазначимо наслідки від їх впливу. Зведемо дані у таблицю 8.2.

Таблиця 8.1 – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
1	Підвищена або знижена температура повітря робочої зони	21-24 °С	Стан втоми, перегрів або переохолодження організму
2	Підвищена або знижена рухливість повітря	0,2-0,4 м/с	Простудні захворювання, перегрів організму
3	Підвищена або знижена вологість повітря	65-75%	Ревматичні, алергічні, захворювання
4	Недостатня освітленість робочої зони	КПО -1,2%,Е – 200 лк.	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
5	Підвищений рівень шуму на робочому місці	80 дБА	Захворювання органів слуху
6	Підвищений рівень вібрації на робочому місці	0,028 м/с x 10 ⁻² /75дБ (загальна вібрація); 2 м/с x 10 ⁻² /112 дБ (локальна вібрація)	Захворювання нервової системи
7	Статичні перевантаження	-	Стан втоми

8	Прямий і відбитий відблиск монітора	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
9	Знижена контрастність	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
10	Підвищений рівень електромагніт-ного випромінювання	10 Вт/м ²	Біохімічні зміни в організмі
11	Підвищений рівень іонізації повітря	n+: 1500-3000 одиниць/ см ³ ; n-: 3000-5000 одиниць/ см ³	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання
12	Канцерогенні, токсичні, мутагенні речовини (озон, оксид азоту, оксид вуглецю, толуол, ксилол, бензол, ізооктан тощо.)	Озон - 0,1 мг/м ³ ; оксид азоту – 5 мг/м ³ ; бензол – 15/5 мг/м ³ ; ксилол – 50 мг/м ³ ; толуол – 50 мг/м ³ ; оксид вуглецю – 20 мг/м ³ .	Біохімічні зміни в організмі
13	Мікроорганізми	-	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання

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

Вимоги безпеки до організації та експлуатації АРМ оператора

АРМ оператора передбачає роботу з комп'ютерною станцією за допомогою якої, оператора спостерігає за роботою установки, також, має можливість керувати установкою в ручному режимі. Всі прилади установки, мають свої умовні позначення та мають можливість змінювати колір, при зміні стану приладів. При появі аварії чи блокуванні в установці, інженер має можливість побачити місце в якому з'явилася аварія, та усунути помилку.

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

- площа на одне робоче місце становить, 10,0 м², а об'єм - 25,0 м³;
- норма: площа – 6,0 м², об'єм - 20,0 м³.
- оператор сидить за стандартним комп'ютерним столом на м'якому кріслі;
- ЖК монітор відображає всю необхідну інформацію;
- трудові операції виконуються в основному на робочому місці;
- на робочому місці добре освітлення, вікно знаходиться з правого боку, на столі знаходиться світильник.

Електробезпека

В установці працюють прилади з напругою 220 В, тому застосовується ізоляція струмопровідних частин. При великих токах, спрацьовують автоматичні вимикачі, які захищають обладнання та обслуговуючий персонал від ураження током. Там де знаходиться висока напруга, приклеєні написи з номіналом цієї напруги. Всі прилади, напруга в яких більше 120 В заземлюються.

Захист працюючих від ураження електроструму при монтажі експлуатації та обслуговуванні АРМ, забезпечується наступними організаційними та технічними заходами і засобами:

- Атестацію оператора АРМ за III групою з електробезпеки;
- Проходження оператора АРМ навчань та інструктажів з питань, безпечної експлуатації електроустановок, а також первинні і періодичний медичне обстеження;
- Подвійна ізоляція проводів;
- Прокладка електро потоків проведень в підлозі;
- Кольорове маркування струмопроводів;
- Наявність електрозахисних засобів (показники напруги, діелектричні рукавички, і т.д.);
- Наявність розробленої інструкції з охорони праці.

Виділення та нормування чинників, які впливають на комфортні та безпечні умови праці. Визначення і нормування показників мікроклімату і чистоти повітря робочої зони

Пожежовибухобезпека на ділянці охолодження води та в АРМ оператора

Так як, приміщення відноситься до категорії В, та до класу пожеж Б. То пожежобезпека в приміщенні забезпечується за рахунок:

- наявністю порошкового та вуглекислого вогнегасника з масою зарядів 8 кг та 3.5 відповідно;
- встановлення димових та теплових автоматичних сповіщувачів, установка проти димного захисту;
- наявність у будівлі внутрішньої системи протипожежного постачання;
- монтаж автоматичних вимикачів, при наявності великого струму, вимикається електропостачання;
- проходження оператором АРМ вступного, первинного, повторного, позапланового інструктажу, навчань та перевірки знань.

Загальні вимоги до шляхів евакуації

Під час виникнення НС оператор АРМ відповідно до затверджувального плану евакуації, повинен залишити приміщення через передбачений прохід між виробничими меблями та обладнанням, та рухатися до сходової клітки через коридор і далі по сходах до дверей евакуаційного виходу.

За нормативами НАПБ А.01.001-2004 та ДБН В.22-28-2010, безпека працюючих під час евакуації, забезпечується наявністю:

- план евакуації (графічна та письмова форма);
- звукове обладнання трансляції мовлення;
- проходи в приміщенні не менше 1м, проходи коридору не менше 1,8м.
- світлове сповіщення “Вихід”;
- всі маршрути евакуації повинні мати освітлення не менше 400 лк.

8.9 Висновки за розділом

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

Виконаний комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування охолодження води з використанням двухступеневого компресору. В результаті виконання отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням МПК, ПК та сучасних пристроїв автоматизації.

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

9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК

9.1. Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації

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

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

Капітальні інвестиції по базовому й новому варіантах техніки визначаються роздільно. Капітальні інвестиції по базовому варіанті включають (розд. 1): витрати на придбання встаткування, у т.ч.:

Вартість устаткування за оптовими цінами $C_{опт}$;

Витрати на тару й упакування – C_T ;

Заготівельно-складські видатки – $C_{з-з}$;

Витрати на монтаж устаткування – C_M ;

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

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

Первинна (балансова) вартість одиниці базової техніки при її придбанні може бути розрахована по формулі 14.1.

$$IS_{перв}^б = C_{опт}^б + C_{опт}^б * C_M + (C_{опт}^б * C_T) / 100 + (C_{опт}^б * C_{тр}) / 100 \\ + [\{ C_{опт}^б + (C_{опт}^б * C_T) / 100 + (C_{опт}^б * C_{тр}) / 100 \}] * C_{з-з} / 100 \quad (14.1)$$

де: $IS_{перв}^б$ – первинна (балансова) вартість одиниці базової техніки, тис. грн.

$Ц_{опт}^6$ – оптова ціна базової техніки, грн. $Ц_{опт}^6 = 2\,020\,000$

$$I_{спер}^6 = 2\,020\,000 + 2\,020\,000 * 0,1 + (2\,020\,000 * 0,25) / 100 + (2\,020\,000 * 5,0) / 100 + [2\,020\,000 + (2\,020\,000 * 0,25) / 100 + (2\,020\,000 * 5,0) / 100] * 0,012 = 2\,357\,340 \text{ грн.}$$

$$I_{спер}^6 = 2\,020\,000 * 1.167 = 2\,357\,340 \text{ грн.}$$

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

$$I_{С\text{ мод}} = I_{С\text{ перв}}^6 * N_{\text{мод}} \quad (14.2)$$

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

$$I_{С\text{ мод}}^6 = 2\,357\,340 * 0,1 = 2\,357,3 \text{ тис грн.}$$

$$I_{С\text{ мод}}^H = 2\,357\,340 * 1,1 = 2\,593,1 \text{ тис. грн}$$

Нормативи розрахунків наведені в таблиці 14.2.

Таблиця 9.1 Нормативні дані для розрахунку капітальних вкладень.

Показники	Позначення	Од.вимір	Величина
Укрупнений норматив витрат на модернізацію	$N_{\text{мод}}$	%	10-20
Коефіцієнт відрахувань на монтажні роботи	$Ц_{м}$	-	0,1

Норматив відрахувань на тару й упакування Цопті	Цт	%	0,25
Норматив відрахувань на транспортні видатки від Цопті	Цтр	%	5,0
Норматив відрахувань на заготовительно-складські видатки	Цз-З	%	1,2
Середня ціна 1т лома	Цл	Грн/т	200,0
Норматив витрат на демонтаж від Цопті		%	2
Нормативи розрахунку ліквідної вартості встаткування (від ІС пер)			
При списанні на лом	-	%	4
При використанні на запчастині	-	%	6
При продажі іншим організаціям	-	%	7

9.2. Розрахунок показника економічного ефекту від модернізації системи керування

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

Таблиця 9.2

Нормативні дані і показники.

№ п/	Показники	Од. вим.	Величина
1	2	3	4
1	Річний фонд часу роботи обладнання	змін	220
2	Місячний фонд часу робітника	год	168
3	Тривалість роботи в зміну	год	8
4	Мінімальний розмір тарифної ставки робітника, який виконує не кваліфіковану роботу	грн	8000
5	Годинна тарифна ставка робітника принятої на підприємстві	грн/год	
	1		48,00
	2		52,32
	3		57,60
	4		64,80
	5		74,40
	6		86,40
6	Вартість 1 Квт/год роботи обладнання.	грн/год	5,24
6	Вартість 1 куба води	грн./куб	26,0
9	Податок на прибуток	%	19

10	Норматив річних амортизацій (прям. мет	%	20
11	Податок на доходи фізичних осіб, військовий	%	18,0 + 1,5
12	Єдиний соціальний внесок (нарахування)	%	22,0
13	Норматив відрахувань на поточний і капітальний ремонт	%	10

Розрахунки виконуються з підрозділом витрат на наступні основні статті:

Сировина і матеріали;

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

Паливо та енергія на технологічні цілі;

Основна та додаткова заробітна плата виробничих робітників;

Відрахування у єдиний соціальний внесок;

Витрати на утримання та експлуатацію устаткування;

Загальновиробничі витрати;

Виробнича собівартість продукції

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

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

$$V_p = IC_{\text{перв}}^{H(6)} * H_p, \quad (14.3)$$

де: H_p – норматив витрат у ремонтний фонд, у відносних одиницях (0,1) не змінюються в процесі запровадження результатів дослідження.

Витрати пов'язані з амортизацією устаткування розраховують по формулі:

$$V_a = IC_{\text{перв}}^{H(6)} * H_a. \quad (14.4)$$

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

Таблиця 9.3 Технію-економічні показники обладнання

№ п/п	Показник	Познач	Од.вим.	Базова машина	Нова машина
1	Витрати води (охолодж.)	Пч	М ³ /ч	220	220
	Продуктивність преса	Кг/год	10 кг	10	10.06
2	Маса обладнання	М	кг	10000	10000
3	Габаритні розміри				
	довжина	Д	мм	5000	5000
	ширина	Ш	мм	2300	2300
	висота	В	мм	2000	2000
5	Тривалість циклу	Чд	сек	144	144

6	Установленна потужність	Рэ	кВт	480	480
8	Витрати води	Qводи	м ³ /ч	150	150
9	Опт. ціна обладнання	Цопт ^б	тс грн	2 020 000	розрахунок
10	Річний фонд робочого часу обладнання	Фг	Змін	220	220

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

Після розрахунків статей, що змінюються, витрат при експлуатації (використанні) базової й нової техніки складається зведена таблиця зміни річних поточних витрат (табл. 14.5)

$$OB^{б(н)} = Поб * Фг * К загр, \quad (14.5)$$

Где: Поб – часовая производительность оборудования (из технического паспорта оборудования)

Фг- годовой фонд времени работы оборудования, час

Кзагр – коэффициент загрузки оборудования, принимаем равным 0,96.

$$OB^б = 10 \text{ кг/год} * 8 * 220 * 0,95 = 16 \text{ 720 кг}$$

$$OB^н = 10,06 \text{ кг/год} * 8 * 220 * 0,95 = 16 \text{ 820,3 кг}$$

$$OB^н = 0,06 \text{ кг/змена} * 220 * 0,95 = 12,54 \text{ кг (убрать в табл.)}$$

Виробнича собівартість продукції

Поточні витрати визначають за базовим і новому варіантам зберігання.

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

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

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

$$V_c = C_{c^{(б)}} * OВ^{(н)}, \quad (14,6)$$

$$V_c^б = 5,5 * 16\,720 = 91,9 \text{ тис.грн.}$$

$$V_c^н = 5,5 * 16\,820.3 = 92,5 \text{ тис.грн.}$$

де : $C_{c^{(б)}}$ – відповідно цена сировини і матеріалів при експлуатації нової та базової техніки.

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

Витрати води:

$$Z_v = C_v * Q_v * \Phi_{г} \quad (14,7)$$

$$Z_v^б = 26,0 * 8 * 1,0 * 220 = 45\,760 \text{ тис..грн}$$

$$Z_v^н = 26,0 * 8 * 1.01 * 220 = 462\,270 \text{ тис.грн.}$$

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

$$Зр = IC \text{ перв}^{н(б)} * Нр, \quad (14,8)$$

$$Зр^б = 2\,357\,300 * 0,1 = 235\,730 \text{ грн.}$$

$$Зр^н = 2\,593\,100 * 0,1 = 259\,310 \text{ грн.}$$

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

Витрати пов'язані з амортизацією обладнання розраховуються за формулою :

$$За = IC \text{ перв}^{н(б)} * Нр. \quad (14,9)$$

$$За^б = 2\,357\,300 * 0,24 = 565\,752 \text{ грн.}$$

$$За^н = 2\,593\,100 * 0,24 = 622\,344 \text{ грн.}$$

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

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

Після розрахунків змінних статей витрат при експлуатації базової і нової техніки складається таблиця зміни річних поточних витрат (табл. 14,5)

Таблиця 9.4

Зміна річних поточних витрат

№ п/п	Статті звитрат	Позн	Величина, тис грн		Відхилення. + -збільше - зменшен
			До модер.	Після модер.	

2	Витрати на поточний капітальний ремонт	Зр	23,6	25,9	+2,3
3	Витрати пов'язані з амортизацією	За	56,6	62,2	+5,6
4	Кіл-сть. обладнання	Аі			
	Всього поточних витрат	З	80,2	88,1	+7,9

РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

Розрахунок обсягу виробництва продукції здійснюємо за формулою:

$$OB^{(н)} = Поб * Фр * К завант * Квиходу, \quad (14.10)$$

Де: Поб – фактична годинна продуктивність обладнання

Фр – річний фонд часу роботи обладнання, год

Кзавант – коефіцієнт завантаження обладнання, приймаємо рівним 0,9.

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

$$OB^б = 10 \text{ кг/год} * 8 * 220 * 0,95 = 16\,720 \text{ кг}$$

$$OB^н = 10,06 \text{ кг/год} * 8 * 220 * 0,95 = 16\,820,3 \text{ кг}$$

$$OB^б = 10 \text{ кг} / 0,0004 = 25\,000 \text{ уп}$$

$$OB^н = 10,06 \text{ кг} / 0,0004 = 25\,150 \text{ уп}$$

Вартісну оцінку результатів від експлуатації базової і модернізованої

техніки, доход від реалізації – розраховуємо за формулою:

$$ТП^{б(н)} = ОВ^{б(н)} * Ц_{пр} \quad (14.11)$$

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

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

$$ТП^б = 25\,000 * 100 = 2\,500 \text{ тис грн.}$$

$$ТП^н = 25\,150 * 100 = 2\,515 \text{ тис грн}$$

$$\Delta ТП = ТП^н - ТП^б = 2\,515 - 2\,500 = 15 \text{ тис грн}$$

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

$$C^б = ТП^б * 100 / 100 + P \quad (14.12.)$$

де: P – рентабельність виробленої продукції (табл. 5,2.)

$$C^б = 2\,500 * 100 / 122 = 2\,049 \text{ тис грн}$$

Повна собівартість виробленої продукції після модернізації техніки розраховуємо за формулою:

$$C^н = C^б + \Delta ТП * 100 / 122 - \Delta З \quad (14.13)$$

$$C^н = 2\,049 + 15 * 100 / 122 - 7,9 = 2\,053 \text{ тис. грн.}$$

де: $\Delta З$ – зміна поточних витрат від модернізації обладнання, тис. грн. (табл.8,4)

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

$$П^{б(н)} = ТП^{б(н)} - C^{б(н)} \quad (14.14)$$

$$П^б = 2\,500 - 2\,049 = 450 \text{ тис.грн}$$

$$\Pi^{\text{н}} = 2\,515 - 2\,053 = 462 \text{ тис.грн.}$$

Приріст прибутку складе:

$$\Delta\Pi = \Pi^{\text{н}} - \Pi^{\text{б}} \quad (14,15)$$

$$\Delta\Pi = 462 - 450 = 12 \text{ тис.грн.}$$

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

$$\Delta\text{ЧП} = \Delta\Pi(1 - \text{Нп}) \quad (14,16)$$

$$\Delta\text{ЧП} = 12 * 0,81 = 9,72 \text{ тис.грн.}$$

Де: Нп – податок на прибуток (для виробничих підприємств на Україні рівняється 19%), у відносних одиницях – 0,19

Розраховані показники зводимо в табл. 14,6.

Таблиця 9.5

Показники виробничої діяльності підприємства.

№ п\п	Показник	Позначення	Обладнання		Зміна статей витрат (+)-зростання. (-)зниження
			Базове	Модернізоване	
1	2	3	4	5	6
1	Дохід від реалізації, тис. грн.	ТП	2 500	2 515	15
2	Повна собівартість продукції тис. грн.	С	2 049	2 053	4
3	Прибуток, тис. грн.	П	450	462	12

4	Чистий прибуток, тис. грн.	ЧП	364,5	374,2	9,72
5	ЧПД при коефіцієнт дисконтування (20%)	Кд	0,8333	0,8333	08333
6	Чистий дисконтова ний прибуток	ЧП Д	303,7	311,8	8,1

РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Одним з основних показників економічної оцінки інвестиційних проектів є показник чистого приведенного доходу (ЧПД).

Розрахунок чистого приведенного доходу здійснюється за формулою 14,17.

$$\text{ЧПД} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{ДП}_i}{(1+d)^i} - \text{ІС} \quad (14,17)$$

ІС – стартові інвестиції;

ДП_i – Сума чистих грошових надходжень, дисконтованих протягом n-років; Якщо ЧПД > 0, то це означає, що в результаті реалізації проекту прибутковість підприємства підвищується і проект можна вважати прийнятним.

$$\text{ЧПД} = 2\,515\,000 - 2\,020\,000 = 495 \text{ (тис. грн.)}$$

Один з найбільш використовуваних показників привабливості інвестиційного проекту є строк окупності інвестицій. Під строком окупності інвестицій СОІ у модернізацію техніки розуміють тривалість часу (періоду), протягом якого сума фінансових підсумків, дисконтованих на початок експлуатації нової техніки (або вкладення інвестицій) стане рівній сумі інвестицій. Розраховується за формулою 14,18:

$$COI = \frac{ИС}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{ДП_i}{(1+d)^i} \right)_{cp}} \quad (14,18)$$

де: $-\sum_{i=1}^n \frac{ДП_i}{(1+d)^i} cp$ – середня сума чистого грошового потоку за період часу прийнятий

у розрахунках (місяць, квартал, рік) $2\,515\,000 / 5 = 503$ (тис. грн.)

$COI = 2\,020\,000 / 503 < 4$ року.

Висновок за розділом

Пропонована зміна конструкції холодильного агрегату, із застосуванням теоретичних розробок дійсного дослідження є доцільна, тому що строк окупності інвестицій становить менш чотирьох років, а чистий дохід більше нуля.

ВИСНОВОК

У ході виконання моєї дипломної роботи була розроблена САК оходження тенологічної води на остові двуступеневого компресора .

Проведена ідентифікація каналів регулювання моделями першого та другого порядків. Розроблена математична модель ОК виявилася достатньо адекватною реальному об'єкту.

Був виконаний оптимальний параметричний синтез САР і розроблені алгоритми автоматичного керування та САР базової структури.

Для реалізації алгоритмів логічного керування і регулювання була розроблена контролерно-комп'ютерна система і відповідне програмне забезпечення.

Практичну цінність має розроблений комплект ескізної проектної документації.

Як оригінальну розробку можна оцінити пакет прикладного програмного забезпечення АСУТП.

Було проведено попереднє економічне обґрунтування щодо впровадження розробленої комплексної САК.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.

2. Хобін В.А. - Конспект лекцій з курсу «Ідентифікації та моделюванню технологічних об'єктів» - Одеса 2016. - 96 с.

3. Хобін В.А. - Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» частина 1 - Одеса 2020. - 110 с.

4. Хобін В.А. - Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» частина 2 - Одеса 2014. - 73 с.

5 . SIMATIC HMI. WinCC flexible 2005. Руководство пользователя 6AV6691-1AB01-0AB0. Редакция 06. - Siemens AG, 2005. – 394 с.

7. ДСТУ Б А.2.4-4-95. ДКУ Мбіа,1997 (ГОСТ 21.101-93, МНТКС). Основні вимоги до робочої документації.

8. ДСТУ Б А.2.4-3-95. ДКУ Мбіа,1997 (ГОСТ 21.408-93, МНТКС). Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.

9. ДСТУ Б А.2.4-10-95. ДКУ Мбіа,1996 (ГОСТ 21.110-93, МНТКС). Правила виконання специфікацій устаткування, виробів і матеріалів.

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

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

11. Трегуб В.Г. Проектирование, монтаж и эксплуатация систем автоматизации пищевых производств: Учебник/ В.Г.Трегуб, А.П.Ладанюк, Л.Я. Плужников – М.: Агропомиздат, 1991. – 352с.

12. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие/А.И. Емельянов, О.В. Капник. – М.: Энергоатомиздат, 1983. - 400 с.

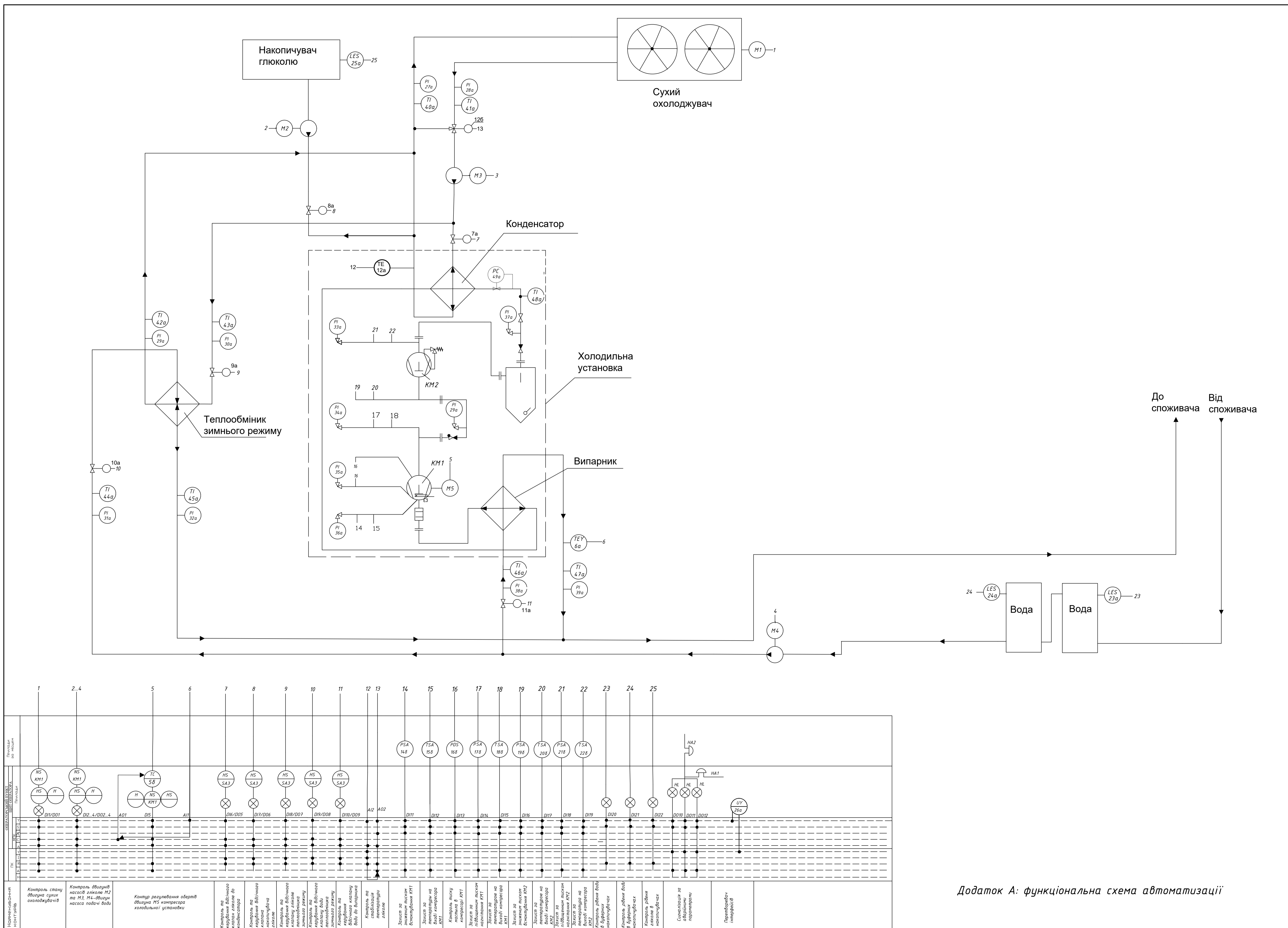
13. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие/А.И. Емельянов, О.В. Капник. – М.: Энергоатомиздат, 1983. - 400 с.

14. Конспект лекцій з курсу “Проектування систем автоматизації (Ч.1)” для бакалаврів 6.050202 всіх форм навчання/ Укладач Ю. М. Скаковський. – Одеса: ОНАХТ, 2014. – 86 с.

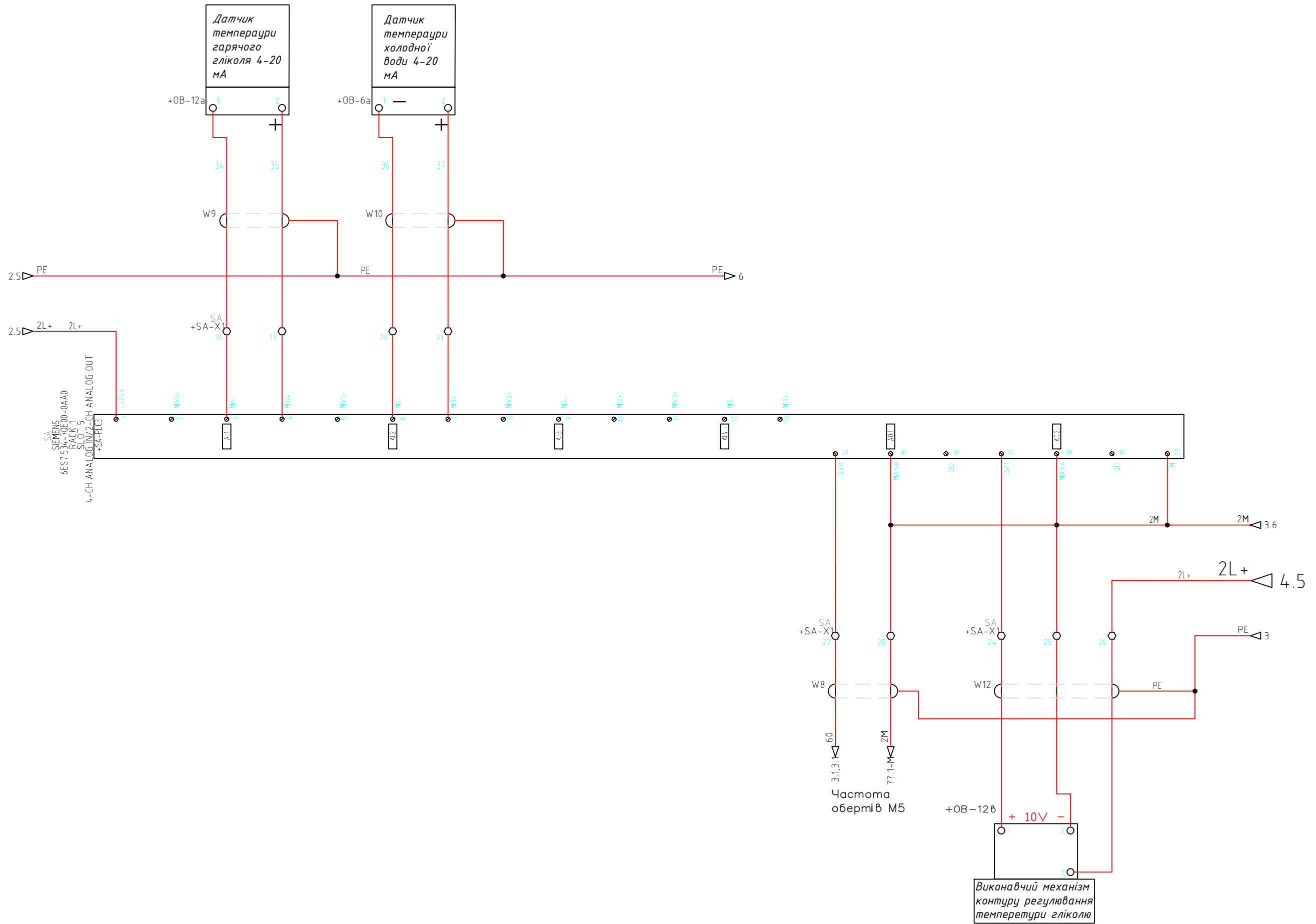
15. SIEMENS. SIMATIC. Компоненты для комплексной автоматизации. Каталог ST 70. 2010 г. Часть 1

Додатки:

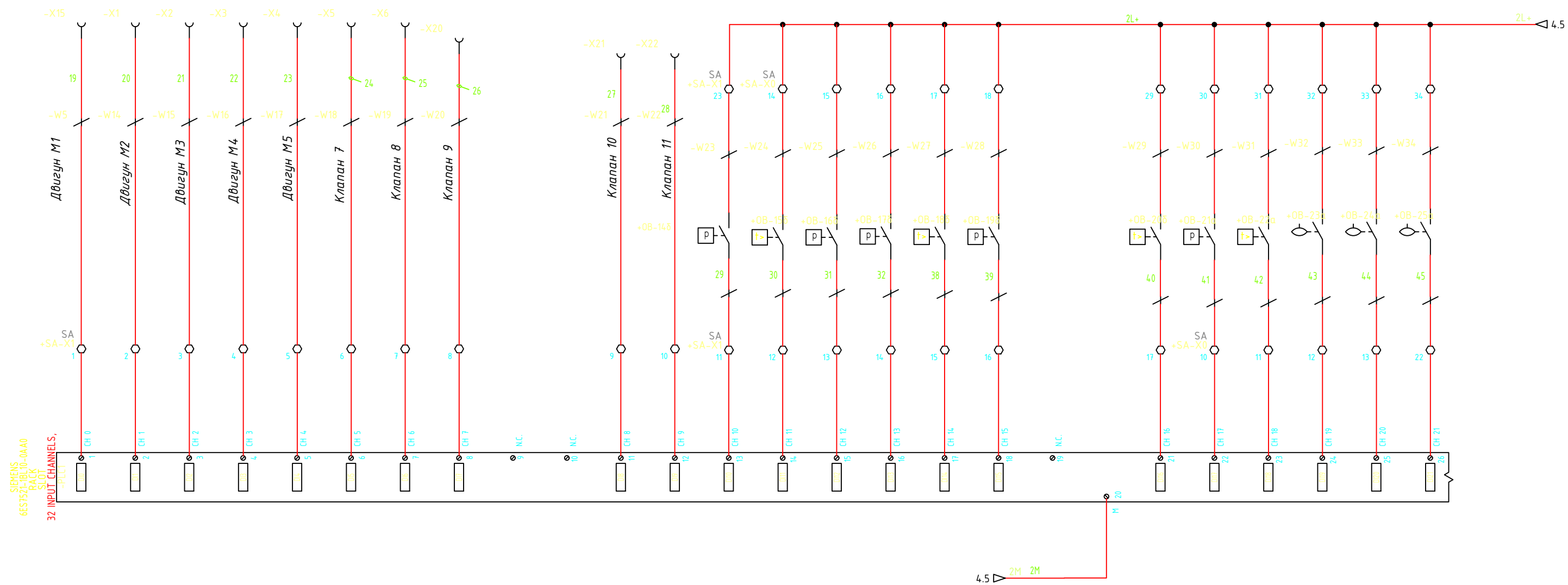
- Додаток А Функціональна схема автоматизації;
- Додаток Б схема підключення аналогових входів-виходів;
- Додаток В схема підключення дискретних входів;
- Додаток Г схему підключення дискретних виходів;
- Додаток Д принципову електричну схему живлення;
- Додаток Е таблицю внутрішньо-шитових з'єднань;
- Додаток Ж таблицю зовнішніх проводок;
- Додаток З схема компоновки плинладів в щиті;
- Додаток И схема підключення частотного перетворювача



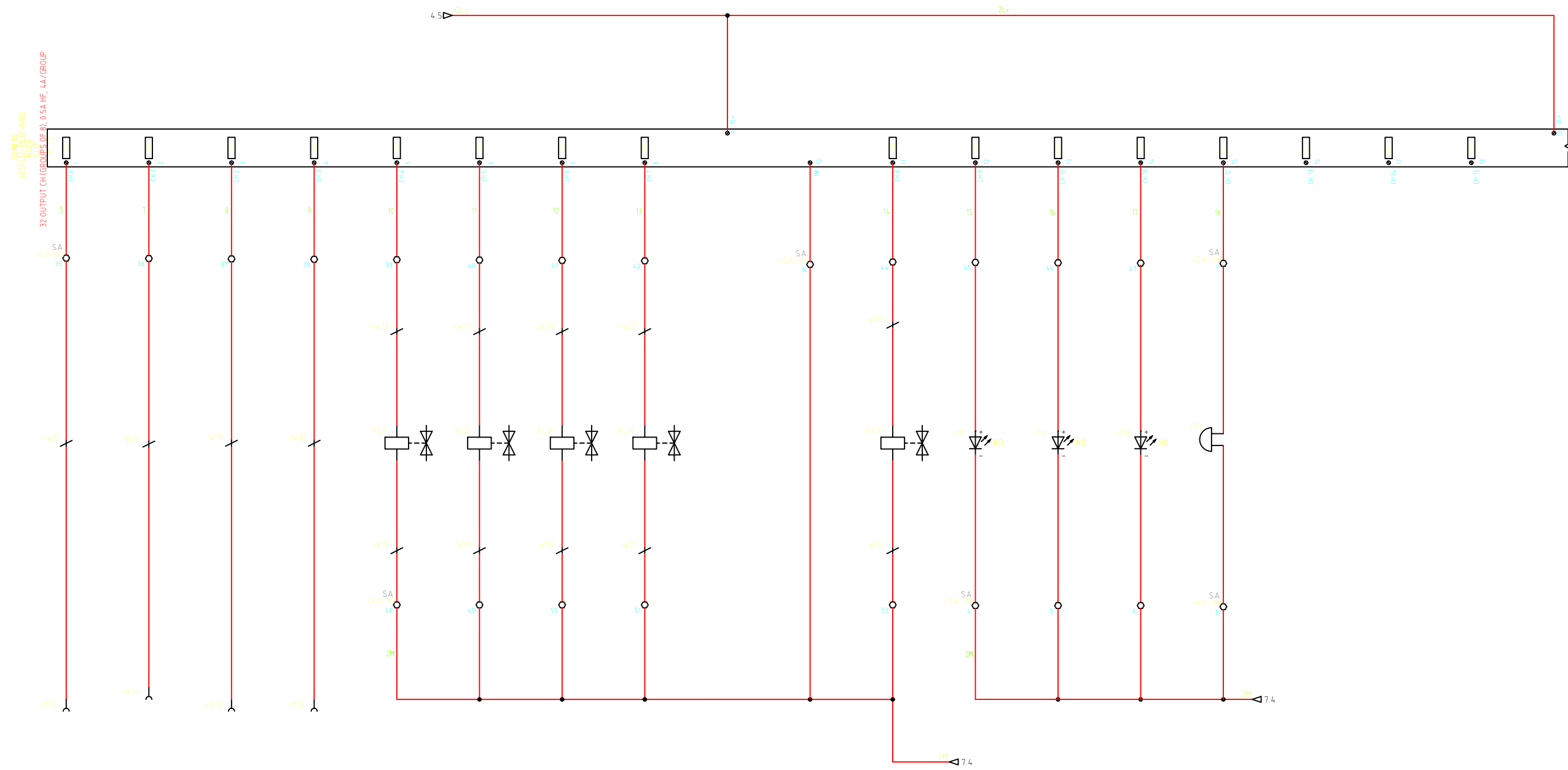
Додаток А: функціональна схема автоматизації



Додаток Б: схема підключення аналогових входів-виходів



Додаток В: схема підключення дискретних входів



Додаток Г: схема підключення дискретних виходів

КАБ	марка провода	перетин	МЕСТО1	СМР:PIN1	МЕСТО2	СМР:PIN2
-W10	2А-1402	2,5мм ²	SA	-X1:20	0B	-6а:1
-W10			SA	-X1:21	0B	-6а:2
-W12			SA	-X1:24	0B	-12в:1
-W12			SA	-X1:26	0B	-12в:3
-W12			SA	-X1:25	0B	-12в:2
-W23			SA	-X1:11	0B	-14б
-W23			SA	-X1:23	0B	-14б
-W24			SA	-X0:14	0B	-15б
-W24			SA	-X1:12	0B	-15б
-W25			SA	-X0:15	0B	-16б
-W25			SA	-X1:13	0B	-16б
-W26			SA	-X0:16	0B	-17б
-W26			SA	-X1:14	0B	-17б
-W27			SA	-X0:17	0B	-18б
-W27			SA	-X1:15	0B	-18б
-W28			SA	-X0:18	0B	-19б
-W28			SA	-X1:16	0B	-19б
-W29			SA	-X1:29	0B	-20б
-W29			SA	-X1:17	0B	-20б
-W30			SA	-X1:30	0B	-21а
-W30			SA	-X0:10	0B	-21а
-W31			SA	-X1:31	0B	-22а
-W31			SA	-X0:11	0B	-22а
-W32			SA	-X1:32	0B	-23а
-W32			SA	-X0:12	0B	-23а
-W33			SA	-X1:33	0B	-24а
-W33			SA	-X0:13	0B	-24а
-W34			SA	-X1:34	0B	-25а
-W34			SA	-X1:22	0B	-25а
-W9			SA	-X1:18	0B	-12а:1
-W9			SA	-X1:19	0B	-12а:2

Додаток Ж: таблиця зовнішніх проводок