

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



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему: «Автоматизація процесу керування водогрійним котлоагрегатом
промислового підприємства»

(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача (ки) Рудик В.Ю.
(прізвище, ініціали)
_____ курсу _____ групи

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

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

доц. каф. АТПіРС Левінський В.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
(ПБ)

Одеса – 2024 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

«23» листопада 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувач Рудик Володимир Юрійович

1. Тема роботи «Автоматизація процесу керування охолодженням технологічної води»
2. Керівник кваліфікаційної роботи Світий Іван Миколайович, к.т.н. доцент
Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 603-03 від 19.10.23 р.
3. Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи «11» червня 2024 р.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт.
5. Зміст кваліфікаційної роботи (розділи, які потрібно розробити):
Розділ 1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК
Розділ 2. Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.
Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз 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	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділи 2, 3	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 4	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 5	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 6	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 7	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 9	Савенко І.І., проф. кафедри МіЛ		

7. Дата видачі завдання 04 грудня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач Рудик В.Ю.

Керівник роботи Світий І.М.

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

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

Здобувач Рудик В.Ю.

Прізвище, ініціали

Підпис

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра Рудика Володимира Юрійовича «Автоматизація процесу керування водогрійним котлоагрегатом промислового підприємства» викладена на 162 сторінках, кількість таблиць 22, рисунків – 121, додатків - 9, 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 водогрійним котлоагрегатом промислового підприємства.

Мета роботи – підвищення техніко-економічних та екологічних показників функціонування водогрійного котлоагрегата промислового підприємства, 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.
Вступ.....	11
Розділ 1 Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.....	12
1.1. Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів.....	12
1.1.1 – Історична довідка про підприємство та характеристика виробничої діяльності.....	12
1.1.2 – узагальнена схема ТП та її опис.....	13
1.1.3 – розгорнута схема ТП для вибраної ділянки автоматизації	15
1.1.4 - опис конструкції ТА, яка може бути об'єднана або розподілена на декілька частин, а також особливості його експлуатації.....	15
1.1.5 - сформульовані (у загальному виді) умови, при яких можливо і економічно доцільно реалізувати розглянутий ТП.....	20
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	22
1.1.8. Аналіз наслідків виходу технологічних і експлуатаційних параметрів за регламентні допуски.....	23
1.1.9 Виявлення параметрів, що характеризують умови ведення технологічного процесу та експлуатації технологічного агрегату.....	24
1.1.10 Формалізація параметризованої схеми технологічного процесу і отримання його параметричної схеми.....	25
1.2 Аналіз існуючого рівня автоматизації ділянки ТП.....	26
1.2.1 засоби отримання інформації про хід ТП і стан ТА.....	26

1.2.2 засоби безпосереднього впливу на процес.....	27
1.2.3 засоби обробки інформації і формування керуючих дій.....	27
1.2.4 засоби представлення інформації технологічному персоналу і оператору процесу.....	27
1.2.5 умови при яких можливий технологічний пуск, зупинка , аварійна зупинка та умови при яких необхідно блокувати предаварійну ситуацію.....	27
1.3 Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК.....	27
Розділ 2 Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.....	29
2.1. Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання...	29
2.2 Ідентифікація (розробка моделей) каналів перетворення об'єкта регулювання.	
2.3 Ідентифікація математичних моделей збурень об'єкта регулювання.....	40
2.4 Реалізація моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їч відповідності експериментальним даним.....	44
2.5 Висновки до розділу.....	60
3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР.....	62
3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом.....	62
3.2. Параметричний синтез і аналіз САР базової структури.....	65
3.3. Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз.....	77
3.5 висновок за розділом	86
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом.....	87
4.1. Аналіз існуючого рівня реалізації функцій логічного (логікопрограмного) керування технологічним агрегатом та модернізація комплексу технічних засобів для автоматизації цих функцій.....	87
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.....	95
4.5. Імітаційне моделювання системи логічного керування.....	99
4.6 Висновки за розділом.....	99
Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.....	100
5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації й обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів і місць їх розміщення	100
5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	103
5.3. Вибір технічних засобів реалізації керуючих дій на технологічний процес і керування обладнанням.....	106
5.4. Вибір альтернативних варіантів технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі.....	112
Розділ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.....	124
6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж.....	124
6.2. Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування.....	126
6.3. Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання.....	129
6.4 Висновки за розділом.....	131
Розділ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.....	132
7.1. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога.....	132
7.2. Розробка екранів АРМ оператора-технолога.....	132

7.3. Конкретизація функцій та структури екранів АРМ наладчика САК.....	137
7.4. Розробка екранів АРМ наладчика САК.....	137
7.5 Висновки до розділу.....	140
Розділ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.....	141
8.1. Опис основних технічних рішень із побудови САК та склад документації її технічного забезпечення.....	141
8.2. Розробка схеми автоматизації та специфікацій на технічні засоби.....	141
8.3. Розробка принципів схем.....	142
8.4. Розробка схем живлення.....	143
8.5. Розробка схем компонування технічних засобів у щиті або шафі. Складання креслення загального виду щита оператора АРМ.....	143
8.6. Розробка монтажних схем або таблиць з'єднань у щиті оператора.....	144
8.7. Розробка схем або таблиць з'єднань зовнішніх електричних і трубних проводок та компонування робочого місця оператора-технолога.....	144
8.8. Охорона праці.....	145
8.9 Висновки за розділом.....	149
Розділ 9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК.....	150
9.1. Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації.....	150
9.2. Розрахунок показника економічного ефекту від модернізації системи керування...	152

ЕЛІК 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;

і т.і.

ВСТУП

Технологічний процес підігріву води має значення для забезпечення оптимальних умов у промислових і технічних умовах. Підігрів води є важливим етапом для підтримання необхідної температури для опалення та технологічних процесів.

У процесі підігріву води велику роль відіграють процеси теплообміну, зміни температури води і температурних режимів. Для підвищення ефективності підігріву важливо підібрати оптимальні параметри цих процесів.

Для оптимізації процесу підігріву води використовується пальник, котел та спеціальне обладнання і системи контролю температурних параметрів.

Математична модель процесу обігріву води може містити в собі різні параметри, такі як динаміка і статика каналів регулювання, а також моделі впливу різних факторів. Реалізація таких моделей дає змогу здійснювати ефективну структурну та параметричну ідентифікацію для подальшої оптимізації процесу.

Для оснащення якісною системою автоматичного регулювання температури підігріву води потрібно побудувати математичну модель процесу. Для побудови моделі виберемо експериментальний підхід. У цьому випадку інформація про властивості ОК «отримується» у ході спеціально організованих експериментів на діючих технологічних агрегатах за експериментальними даними. Ця математична модель повинна включати моделі динаміки та статички каналів перетворення координатних дій: каналів керування та контрольованих збурень, а також моделі збурень як стохастичних (випадкових) процесів. Необхідно провести структурну та параметричну ідентифікацію цих моделей, а потім реалізувати ці моделі у середовищі імітаційного моделювання і підтвердити відповідність властивостей моделей властивостям технологічного агрегату як об'єкта керування. Рішенню перерахованих вище завдань і присвячена ця курсова робота. Також у роботі була розглянуто синтез і аналіз системи автоматичного регулювання підвищеної динамічної точності.

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

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, контрольно-аналітична і мікробіологічні), 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" - багатoproфільне підприємство. Окрім ділень з виробництва готових лікарських засобів, до структури виробничого комплексу входять ділень 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.

Узагальнена схема ТП та її опис

Розробка концептуальної моделі об'єкту керування

Суть технологічного процесу – це цілеспрямоване перетворення

продуктових і енергетичних потоків у спеціальному технологічному устаткуванні (ТУ) (машинах, апаратах, агрегатах). Суть технологічного підігріву води в перетворенні холодної води від технологічного обладнання до заданої температури. Регулювання температури здійснюється за рахунок зміни режиму роботи пального та зміни положення регулюючого вентиля. Технологічна схема процесу наведена на рис. 1.1.

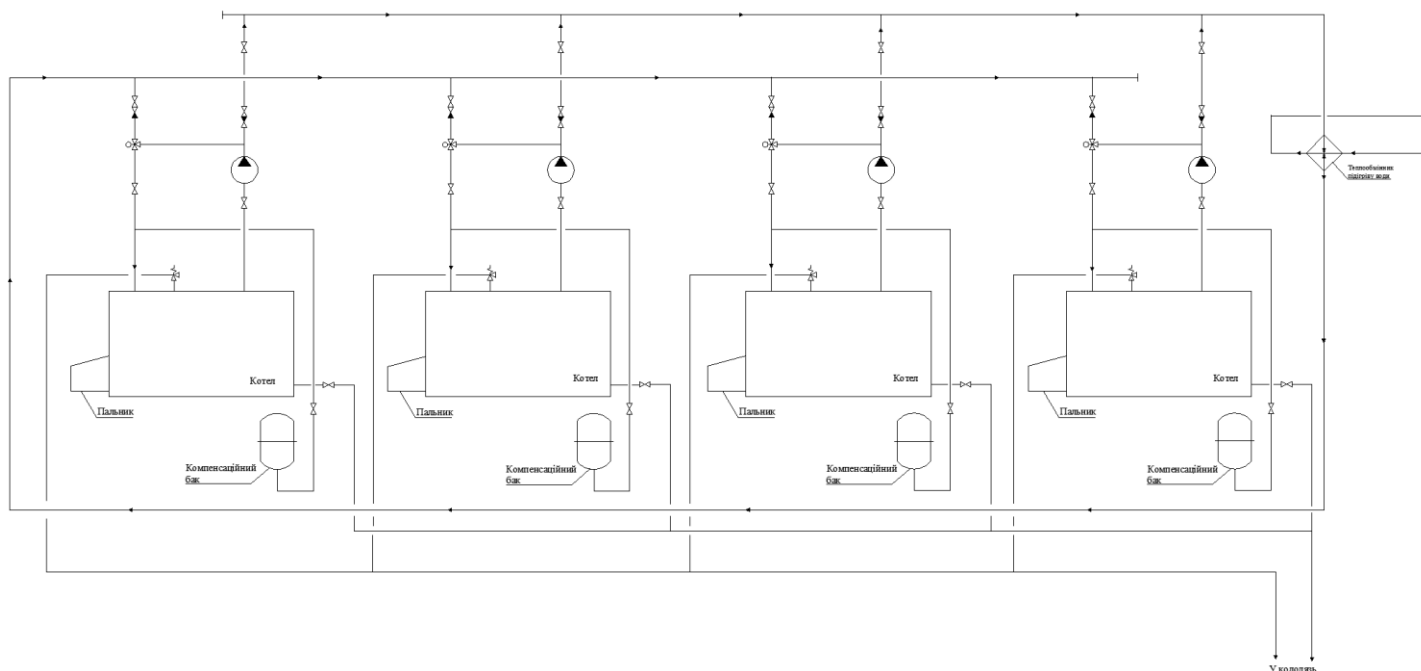


Рис. 1.1. Схема системи підігріву води

Холодна вода від теплообмінника потрапляє по чергову до кожного з котлів, кількість задіяних котлів на даний момент часу залежить від кількості знятого тепла на теплообміннику. Від котлів вода через насоси потрапляє до загального колектору. Надлишковий пар з котла потрапляє до колодязя

Складаємо розгорнуту схему ТП для вибраної ділянки автоматизації

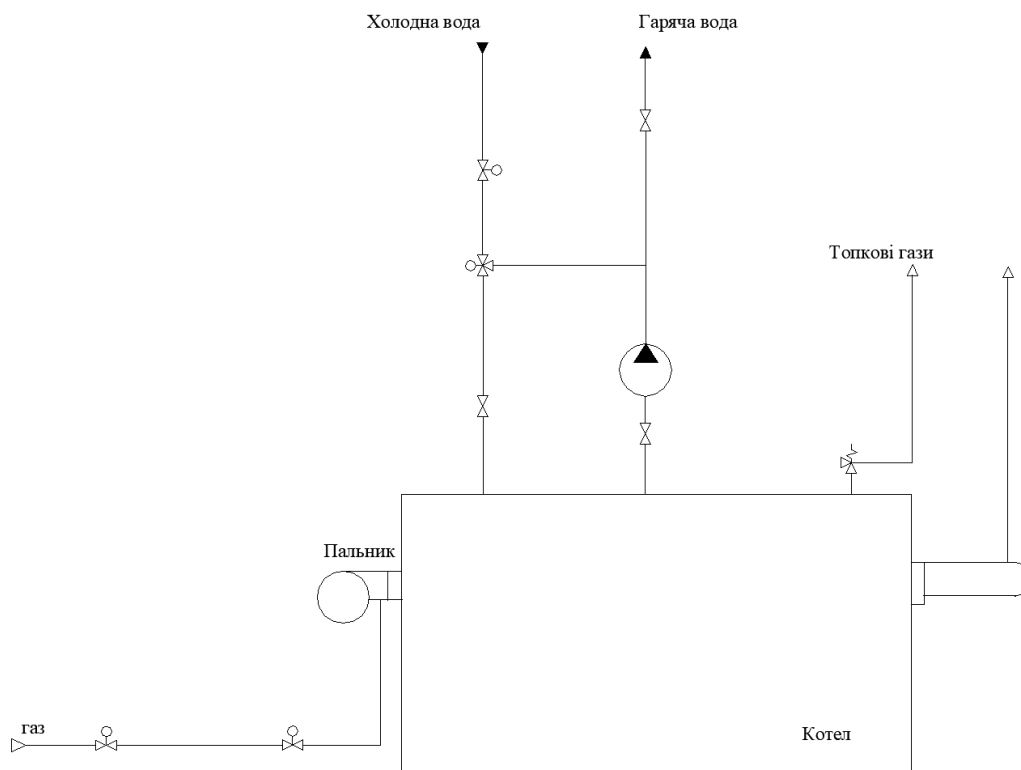


Рис. 1.2–Схема процесу підігріву води

Холодна вода з температурою 72°C приходить до котла, де за допомогою пальника він підігріває воду до 87°C , після чого вона надходить до споживача. В залежності від погодних умов або зміни споживання води, температура зворотної води може бути більшою, у такому разі за допомогою зміни положення регулюючого вентиля частину води ми відправляємо у назад, не пропускаючи її через пальник. Якщо вода від споживача приходить менше ніж 72°C , у такому разі за рахунок зміни положення регулюючого вентиля газу, ми подаємо до пальника більшу кількість газу, де внутрішній контролер пальника, відповідно до заданого коефіцієнту співвідношення газ/повітря, подає цю суміш до котла. За рахунок цього температура зростає до заданої.

Описуємо конструкцію ТА, яка може бути об'єднана або розподілена на декілька частин, а також особливості його експлуатації

Описуємо конструкції технологічного агрегату та особливостей його експлуатації.

Котел Viessmann Vitoplex 200 sx2a 1600 kw

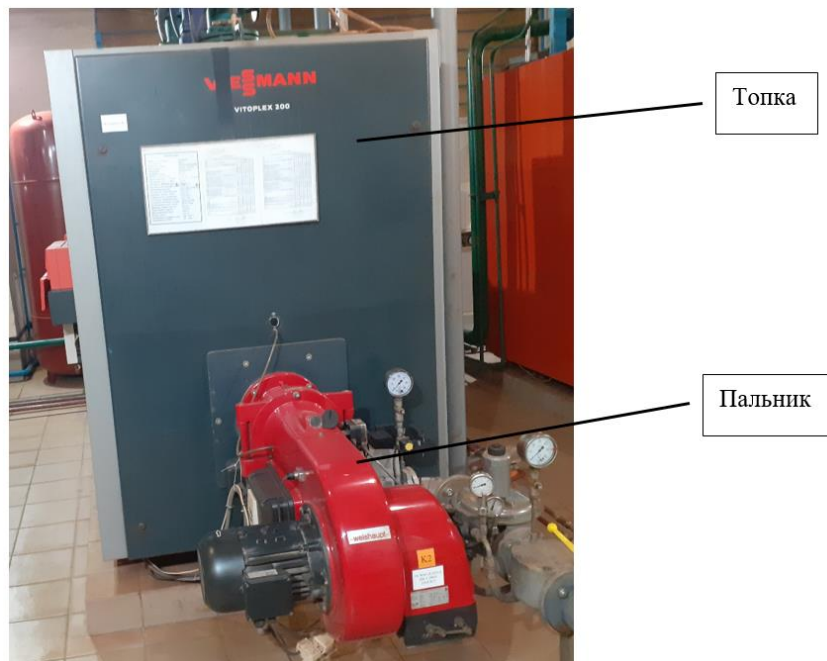
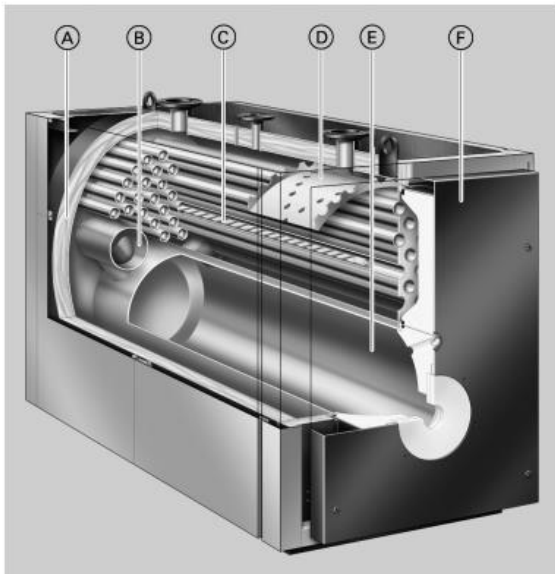


Рис. 1.3 Зовнішній вигляд котла та пальника

Триходовий котел з низькою теплонапруженістю камери згоряння

Компактний сталевий котел Vitoplex 200. При різних навантаженнях ці триходові котли працюють екологічно, з низьким рівнем шкідливих викидів. З ними можна застосовувати пальники різних типів і виробників. Vitoplex 200 відзначається низькою теплонапруженістю камери згоряння, що забезпечує спалювання палива з особливо низьким рівнем виділення оксидів азоту.



- Ⓐ Високоєфективна теплоізоляція
- Ⓑ Жарові труби другого ходу
- Ⓒ Жарові труби третього ходу
- Ⓓ Водонаправляюча пластина з інжекторами зворотної магістралі
- Ⓔ Камера згоряння (перший газохід)
- Ⓕ Дверцята котла

Рис. 1.4 Внутрішній пристрій котла

Пальник WM - GL20/3-A / ZM-T (W-FM 100/200)

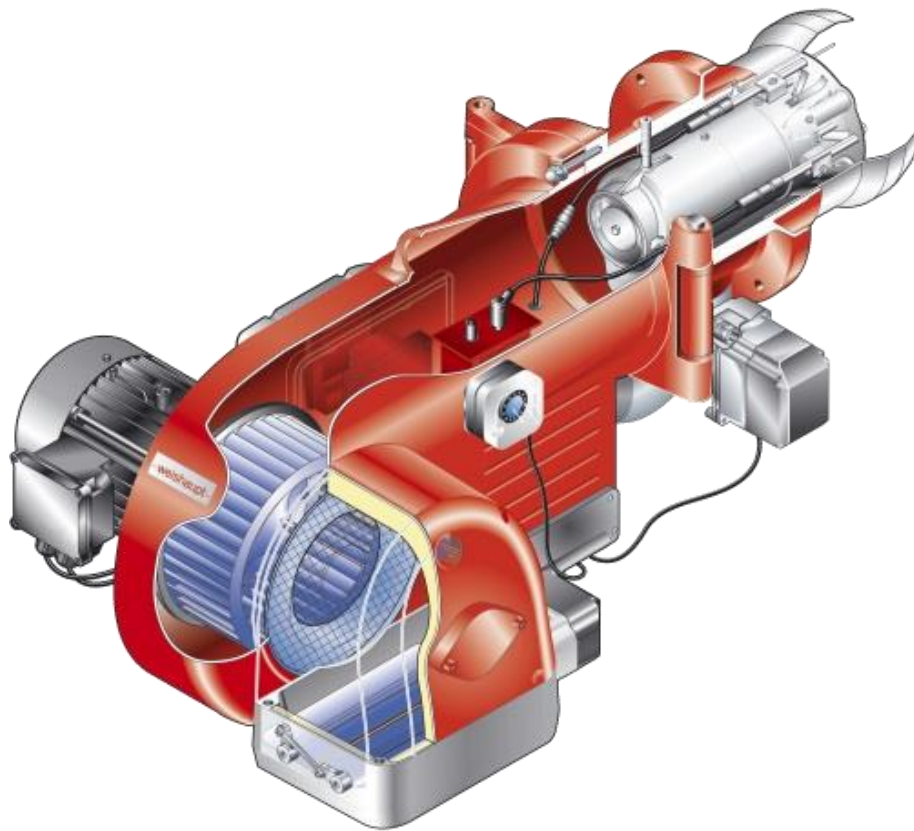


Рис. 1.5 Внутрішній пристрій пальника

Принцип дії Подача повітря

Повітряні заслінки

Повітряні заслінки регулюють об'єм повітря, необхідний для спалювання. Управління повітряними заслінками здійснюється менеджером ренія через сервопривід. При зупинці пальника менеджер закриває повітряні заслінки автоматично. При цьому зменшується непотрібне охолодження теплогенератора.

Вентиляторне колесо

Вентиляторне колесо приводиться в дію електродвигуном пальника. Воно подає повітря від корпусу повітрязабірника через повітряні заслінки в полум'яну голову.

Полум'яна труба

Залежно від положення полум'яної труби змінюється повітряний зазор між полум'яною трубою та змішувальним пристроєм. За рахунок цього про- виходить налаштування тиску змішування та об'єму повітря для спалювання.

Реле тиску повітря

Реле тиску повітря контролює тиск повітря у корпусі пальника. У разі низького тиску менеджер горіння дає команду на аварій- ве відключення.

Табл. 1.1 Режимна карта котла Viessmann Vitoplex 200 sx2a 1600 kw

№	найменування	Розм	Навантаження котла		
			1	2	3
1	2	3	4	5	6
Оперативні параметри					
1	Тиск палива				
	В колекторі	мБар	32	28	23,5
	Після регулятора	мБар	31	27,4	21,5

2	Тиск повітря перед пальником	Па	160	650	1350
3	Тиск у топці	Па	25	170	420
4	Розрядження за котлом	Па	22	25	27
Контрольні параметри					
5	Вміст у газах, що йдуть CO ₂	%	9,6	9,8	9,8
6	Вміст у газах, що йдуть O ₂	%	3,9	3,6	3,5
7	Коефіцієнт надлишку повітря	-	1,23	1,21	1,2
8	Температура газів, що йдуть за котлом	°C	112	153	181
9	Температура повітря на горіння	°C	26	26	26
10	Концентрація NO, наведеної до норм. умов и a=1	мг/м ³	95,5	92,4	93,2
11	Концентрація CO, наведеної до норм. умов и a=1	мг/м ³	18,4	16,6	15,0
Основні показники					
12	Теплова продуктивність	кВт/ ч	510	940	1350
13	Теплова продуктивність	Гкал /ч	0,439	0,808	1,16 1
14	Витрати палива по вузлу обліку	м ³ /ч	56,1	105,4	153, 5
15	Температура на виході з котла	°C	75	80	87
16	Температура на вході в котел	°C	69	70	72
Економічні показники					
17	Витрати тепла				
	з газами, що йдуть	%	4,1	6,0	7,2
	з хімічним недопалом	%	0	0	0
	у довкілля	%	0,5	0,5	0,5
18	ККД котла «брутто»	%	95,4	93,5	92,3
19	Тип пальника	-	WM - GL20/3-A /		

		ZM-T			
20	Кількість працюючих пальників	Шт.	1	1	1
21	Питома витрата умовного палива на 1 Гкал виробленого тепла	уг. у.т./ Гкал	145,3	148,3	150, 3
22	Пит. викид на 1 кВт*ч виробленого тепла:				
	Оксид азоту	мг/к Вт*ч	81,9	79,2	79,9
	Оксид вуглероду	мг/к Вт*ч	15,8	14,3	12,9

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

Мета ведення процесу підігріву 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 котла;
- тиск газу що подається до пальника відповідає нормі;
- 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.

Параметризуємо схеми технологічного процесу і загальна характеристика параметрів і їх взаємозалежностей.

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

подачею гарячої води до споживача. Важливою умовою нормального функціонування технологічного процесу є постійна підтримка заданої температури. Проведемо параметризацію технологічної схеми. Результати параметризації наведені на Рис. 1.6

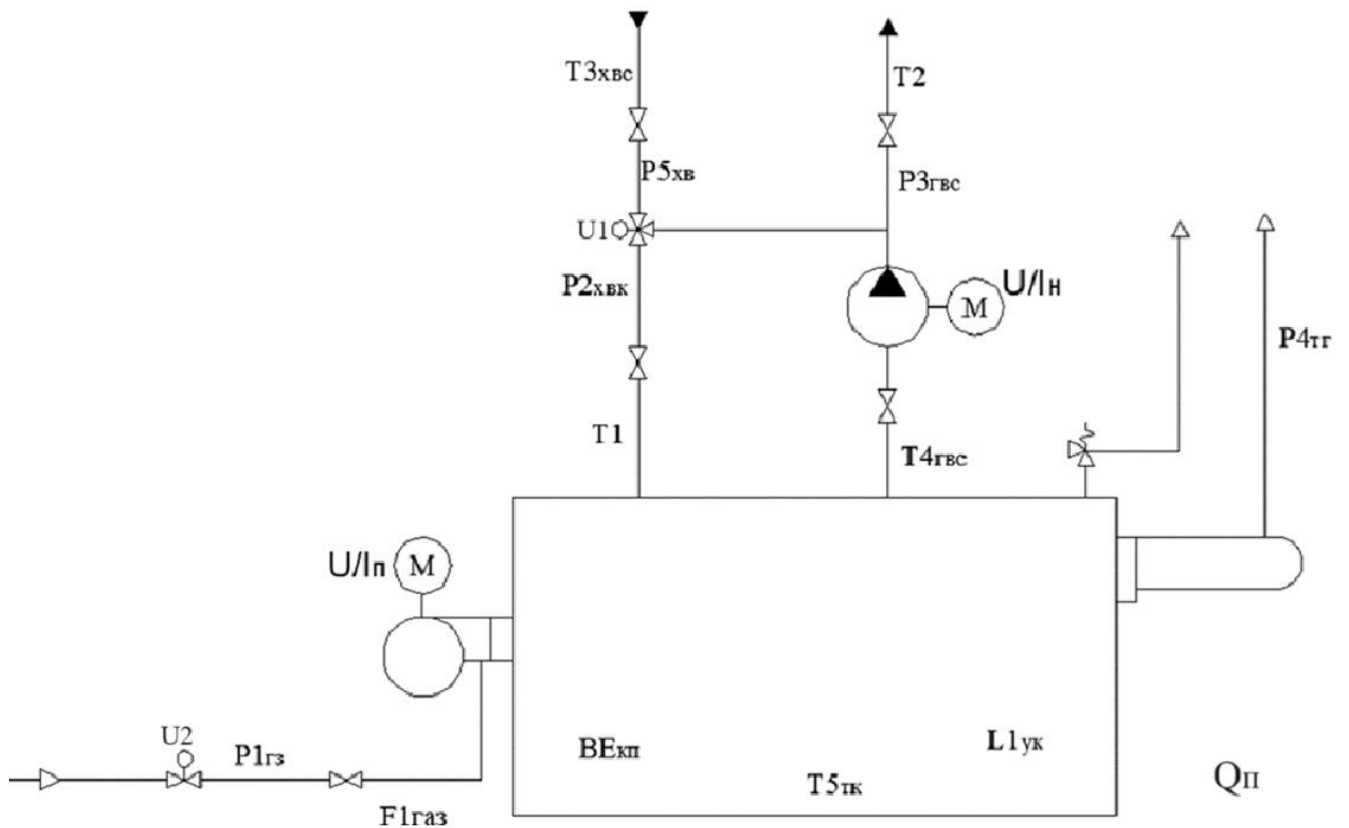


Рис. 1.6 - Результати параметризації

$T_{4гвс}$, $P_{3гвс}$ - температура, тиск та витрати води з котла внутрішньо-котлового контуру; °С, Па;

T_1 , $P_{2гвк}$ - температура та тиск на вході до котла, °С, Па;

T_2 – температура води до споживача, °С;

$T_{3хвс}$ – температура води з споживача, °С;

$P_{1гз}$, $F_{1газ}$ – тиск та витрати газу на вході до пальника, Па, °С, м³/год;

$BE_{кп}$, $T_{5тк}$, $L_{1ук}$ – контроль наявності факелу, температури та рівень води у котлі, %;

$T_{4тт}$ – температура, газу що виходить після фільтру, °С;

$P_{5хв}$ – тиск води, що приходить від споживача, Па;

$Qп$ – загазованість в приміщенні, %;

U/Ip - параметри двигунів електроприводу (ПЕД) пальника, А;

U/In - параметри двигунів електроприводу (ПЕД) насосу подачі води, А;

U1 – управління положення трьохходового клапану, %;

U2 – управління положення регулюючого органу подачі повітря. %;

Конкретизуємо регламенти і умови 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.

Основу нормативів складають три основні регламенти: технологічний, експлуатаційний, техніко-економічний та екологічний.

Технологічний регламент - визначає умови, за яких у результаті процесу підігріву води виходить продукт із заданими властивостями. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналів технологічних параметрів. Для нашого процесу таких, як T1 - температура води на вході у котел, T2 – температура води на виході до користувача.

Експлуатаційний регламент - визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від експлуатаційних параметрів даного технологічного об'єкта. До них належать: T_{max} - максимальна температура води.

Техніко-економічний та екологічний регламент - визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. Він являє собою набір номінальних або гранично-допустимих значень техніко-економічних та екологічних параметрів. До них належать: F_u - питомі витрати електричної енергії.

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.

Аналізуємо наслідки виходу технологічних і експлуатаційних параметрів за регламентні допуски.

При відхиленні параметрів процесу підігріву 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 короточасні. Припустимі відхилення визначають зону незначних відхилень, середнє значення параметру якої можна вважати близьким до нормативного, тому ці відхилення не ліквідуєть. Короточасні 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 підігріву води складемо таблицю регламентів (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Таблиця регламентів

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Номінальні значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Довготривалі	Короткочасні	
						Величина	Величина
1	Температура води до користувача контуру	T2	°C	87	±1,5	±0,5	100с
2	Температура води зворотнього контуру	T1	°C	72	±0,5	±2	100с

Виявляємо параметри, що характеризують умови ведення технологічного процесу та експлуатації технологічного агрегату.

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

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. До цієї групи параметрів віднесемо: $P_{3_{ГВК}}$ - тиск гарячої води внутрішньо-котлового контуру; $T_{4_{ГВС}}$ – температура води що йде до споживача $F_{4_{В}}$ – витрата води; $L_{1_{УК}}$ – рівень води у котлі; $T_{5_{ТК}}$ – температура води у котлі.

Енергетичні параметри характеризують енергію, яка підводиться до технологічного устаткування ззовні і витрачається на зміну властивостей

продуктів. До цієї групи параметрів віднесемо: $P1_{гз}$ – витрати і тиск газу, що подається до пальника; $T3_{хвс}$ – температура холодної води від споживача; $P2_{хвк}$ – тиск води, що приходить до котла; $P2_{хвк}$ – тиск води, що приходить з користувача; $Qп$ – загазованість в приміщенні; $Uн, Uп$ – живлення насосу подачі води та пальника

Механічні параметри технологічного обладнання характеризують стан його робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо: Q_s – теплопередача; $U2$ – управління подачі газу до пальника, співвідношення газ/повітря; $U1$ – управління положенням трьохходовим клапаном.

Експлуатаційні параметри: $VE_{кп}$ – наявність факелу у топці від пальника; $P4_{гг}$ – тиск топкових газів; $Iн/Iп$ – струм насосу подачі води та пальника.

Технологічні параметри характеризують властивості керуючих величин. $T2$ – температура води, яка йде до користувача; $T1$ – Температура води зворотнього контуру; $F1_{гз}$ – витрати газу, що подається до пальника;

Формалізуємо параметризовану схему 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 підігріву води наведена на рис. 1.4.

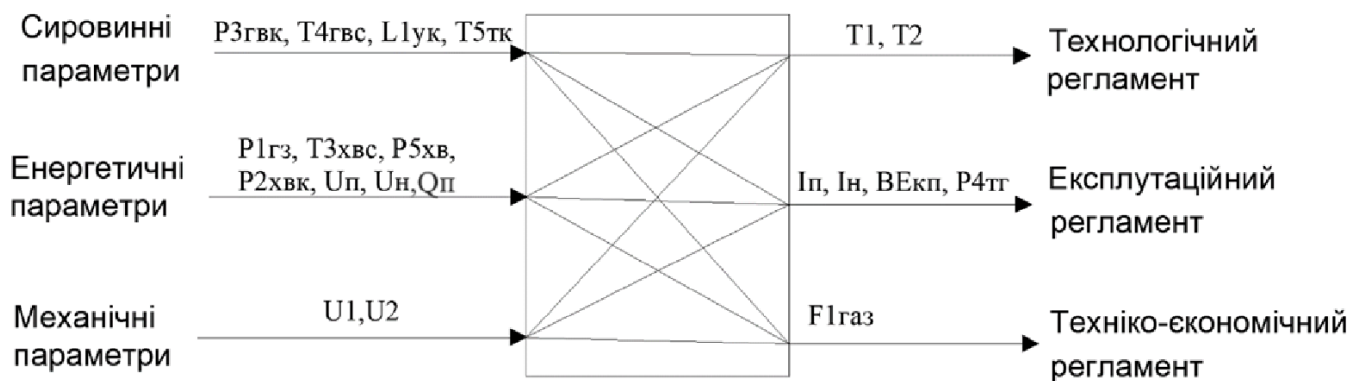
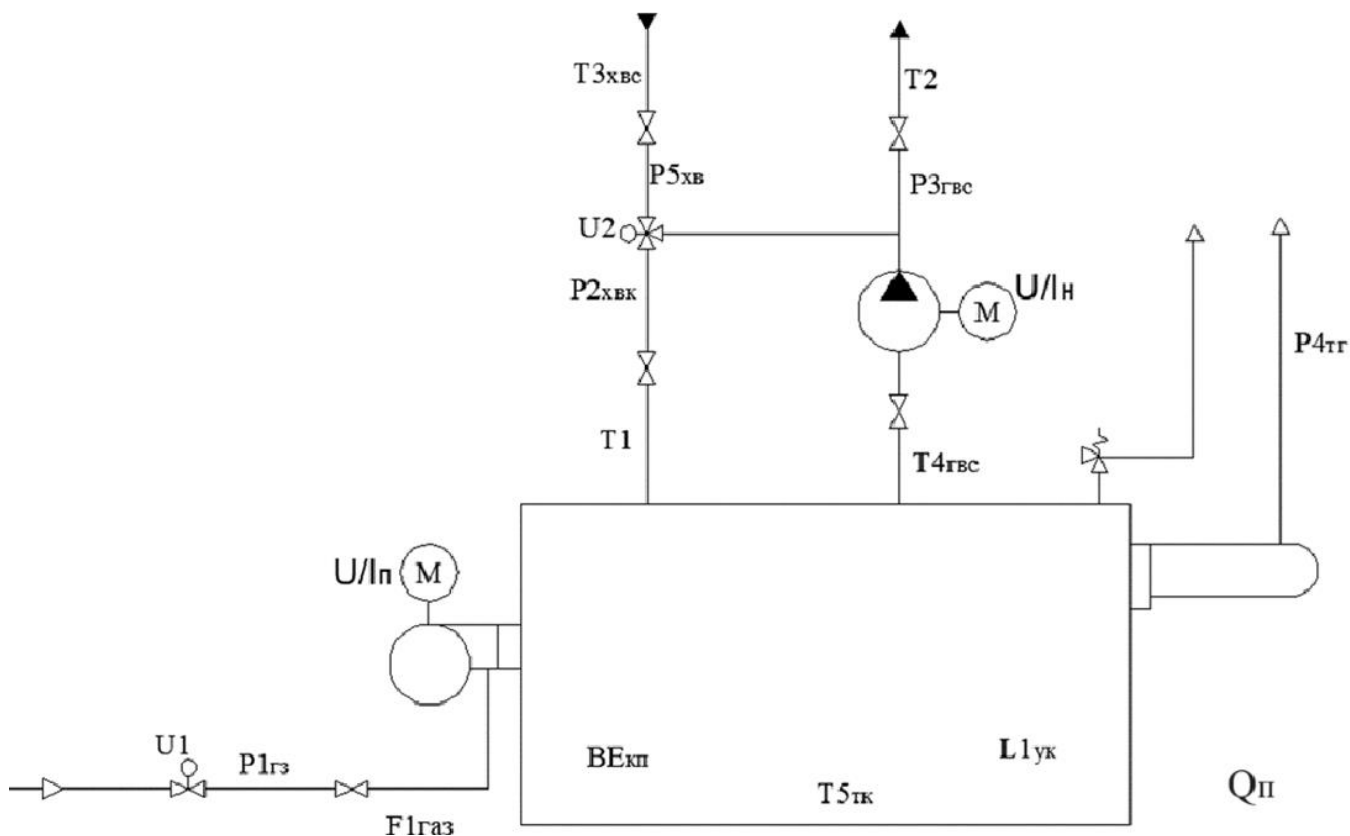


Рис. 1.7 Параметрична схема процесу підігріву води

1.2 Аналіз існуючого рівня автоматизації ділянки ТП

Оцінюємо існуючий рівень реалізації функції регулювання для технологічних та експлуатаційних параметрів та її забезпечення технічними засобами автоматизації

Формалізуємо засоби отримання інформації про хід ТП і стан ТА



Датчик температури 4-20мА -5 шт. (на трубопроводі подачі води та у котлі)

Занурювальний датчик-реле рівня – 1 шт. (у котлі)

Датчик тиску- 4 шт. (у трубопроводі подачі води та газу)

Датчик витрати – 1 шт. (на трубопроводі подачі газу)

Датчик загазованості – 1 шт. (у приміщенні котельні)

Відсічні клапани 24В – 2 шт.

Формалізуємо засоби безпосереднього впливу на процес

Регулюючий клапан Danfos (на трубопроводі газу та води)

Формалізуємо засоби обробки інформації і формування керуючих дій

Контролер Siemens S7-1500 (у щиті)

Формалізуємо засоби представлення інформації технологічному персоналу і
оператору процесу

Система візуалізації Siemens TP1200 Comfort HMI Panel 12,1" (на щиті)

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

Умови пуску ділянки: наявність води в системі подачі до котлу та наявність газу
у системі.

Умови зупинки: ---

Умови аварійної зупинки: якщо спрацював будь-який захисний датчик-реле
подачі води або газу, якщо згас факел або коли спрацював захисний датчик
загазованості приміщення.

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

Економія газу на 5% за рахунок плавного управління режимами роботи пальника.

Отримуємо кінцеву економічну ціль модернізації системи

Завдяки економії газу на 5% за рахунок плавного управління режимами роботи
пальника.

1.4 Висновки до розділу

Технологічний процес підігріву води водогрійним котлоагрегатом є одним з ключових процесів на лінії виробництва готової продукції. Підвищення ефективності саме цього процесу здатне дати суттєвий економічний ефект. Тому саме підігрів води було обрано в якості об'єкту для модернізації системи керування. Провівши аналіз діяльності підприємства і ходу технологічного процесу, можна зробити висновок, що саме на цій ділянці технологічної схеми можна істотно змінити техніко-економічні показники виробництва в цілому, такі як економія газу при виробництві.

Виходячи з вище викладеного, при впровадженні для процесу підігріву води водогрійним котлоагрегатом модернізованої системи керування на базі мікропроцесорної техніки, яка буде ефективно контролювати і керувати процесом, потрібно домогтися зниження витрат газу при підігріву води. Для цього слід буде поліпшити якість регулювання температури води, удосконалити існуючі алгоритми логічного керування, замінити існуючу елементно-технічну базу на більш нові засоби керування.

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 підігріву води в якості регульованої координати доцільно обрати Температура води котлового контуру (T_1) та Температура води зворотнього контуру (T_2)

В якості регульованої координати доцільно віднести регулюючий клапан подачі води та регулюючий клапан подачі води до пальника . Які є регулюючими органами, що регулюють температуру води та теплопродуктивність . 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 підігріву води наведена на рис. 2.1

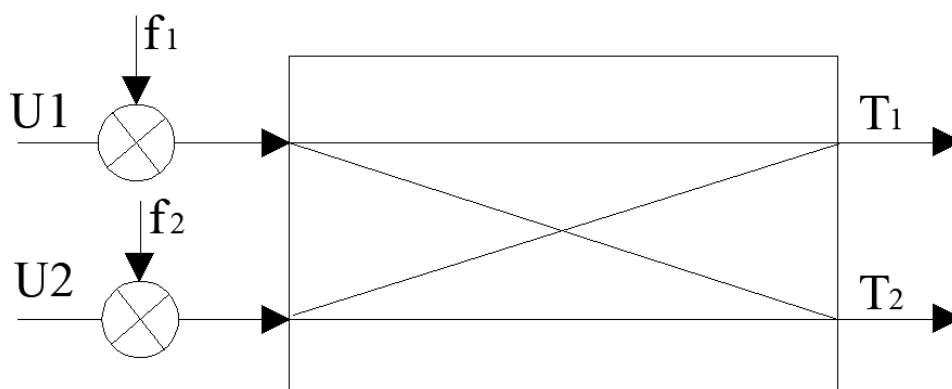


Рис. 2.1 – Структурна схема процесу підігріву води як об'єкту регулювання

U_1 - змінення положення регулюючого трьохходового клапана, який змінює подачі

води

U2 - змінення положення регулюючого клапана який змінює витрати газу до пальника

T1 - температура води, що йде до користувача

T2 - температура води котлового контуру

f1, f2 - вектор неконтрольованих збурень

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 збільшення 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.

За допомогою зміни управляючих дій домагаємося значень регульованих координат, що перебували б в околицях їх номінальних значень. Для нашого ОК значенням $U_1 = 60 \text{ \%x.p.o.}$ та $U_2 = 60 \text{ \%x.p.o.}$ будуть відповідати значення регульованих координат $T_1=72^\circ\text{C}$, $T_2=87^\circ\text{C}$

Результати активного експерименту наведені нижче

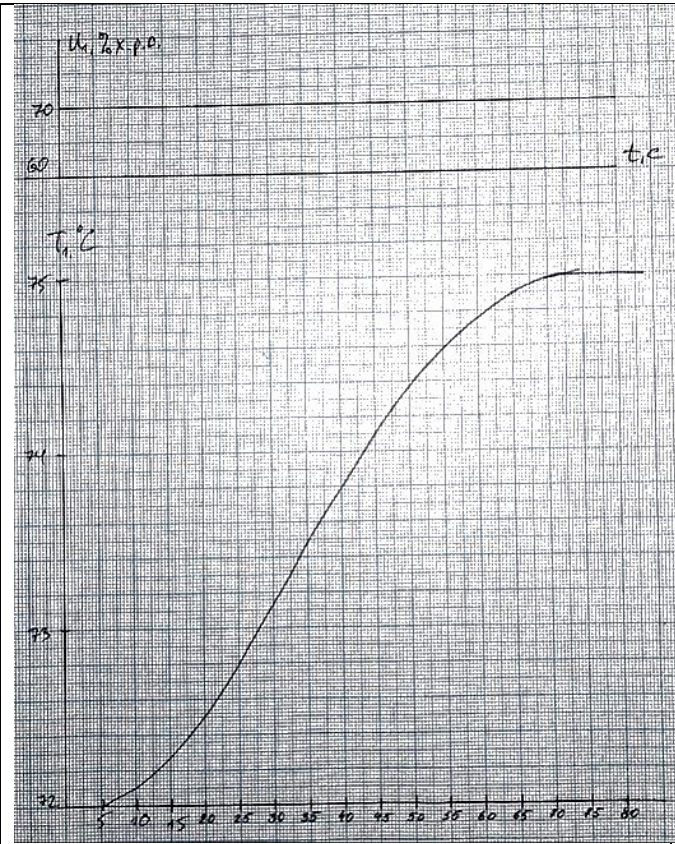


Рис. 2.2 - Результаты активного эксперимента за каналом "U1 - T1"

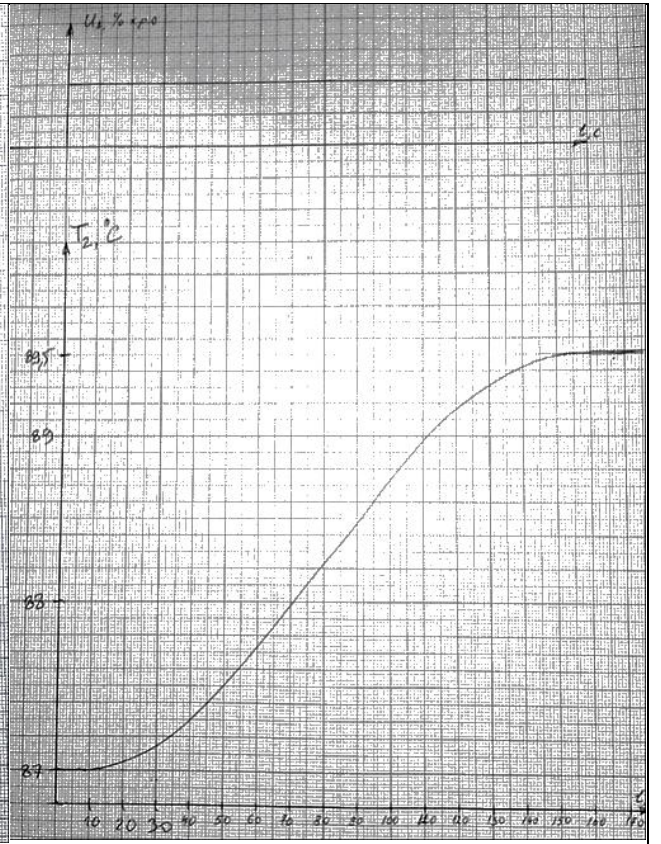


Рис. 2.3 - Результаты активного эксперимента за каналом "U1 - T2"

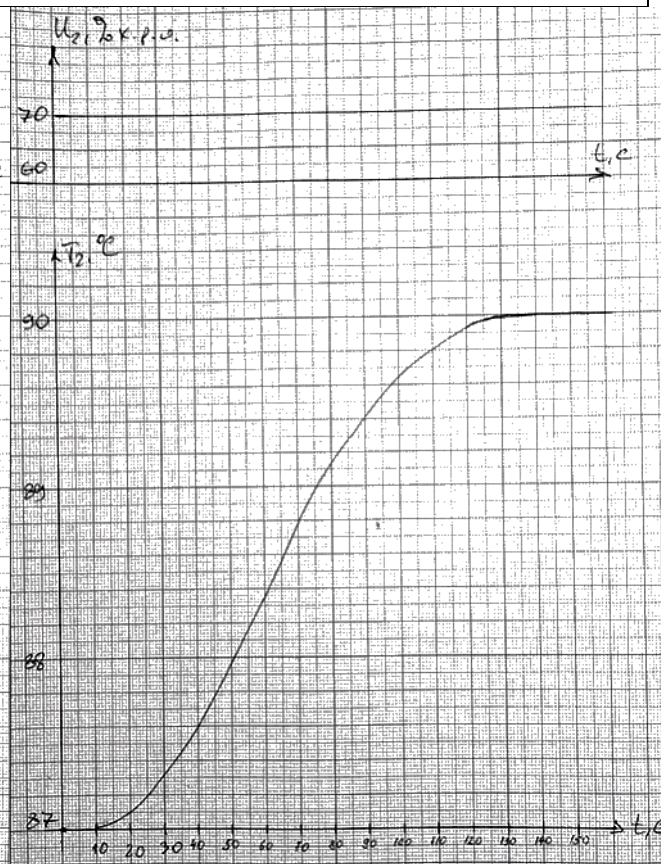
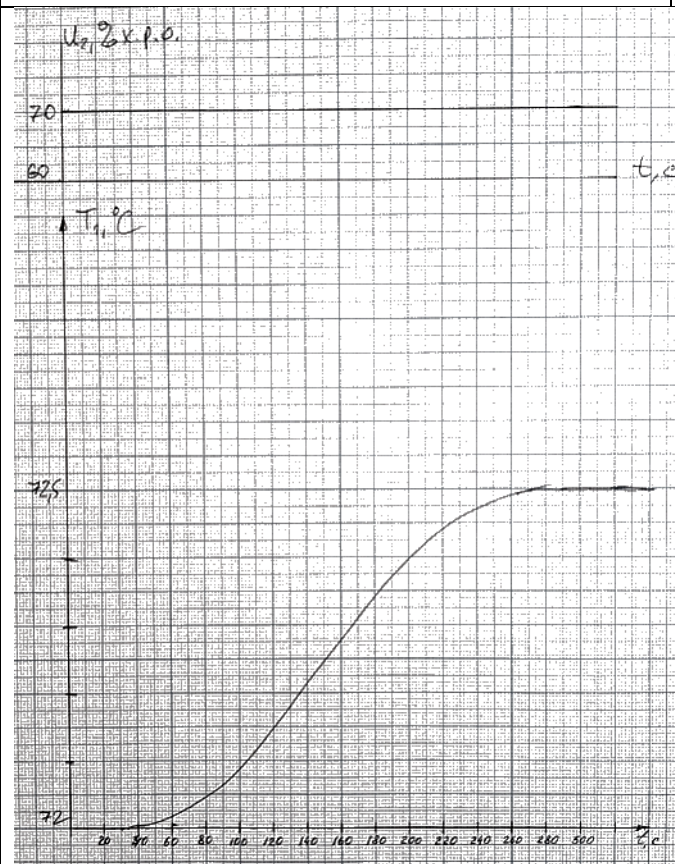


Рис. 2.4 - Результати активного експерименту за каналом "U2 - T1"

Рис. 2.5 - Результати активного експерименту за каналом "U2 - T2"

За результатами активного експерименту (рис. 2.1) можна зробити висновок, що канал управління нашого ОК має властивість самовирівнювання, а значить його модель може бути описана передаточними функціями: першого та другого порядку:

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

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 запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики «двох загальних точок».

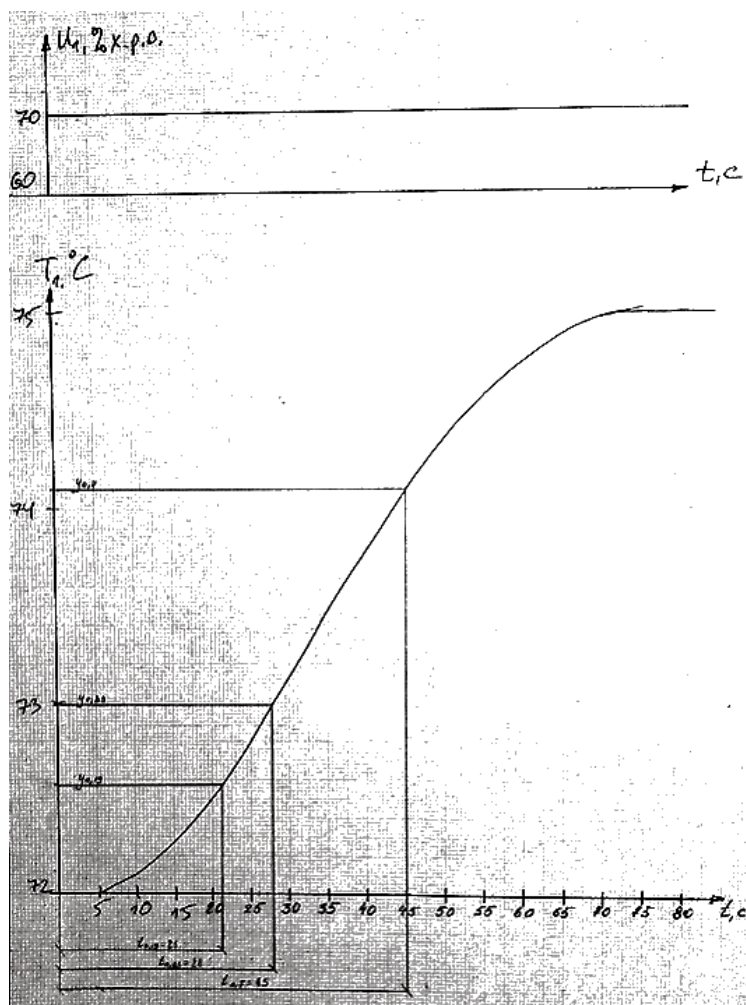


Рис. 2.6 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом "U1 – T1"

Модель 1-го порядку

$$K_o = \frac{\Delta T_1}{\Delta U_2} = \frac{75 - 72}{70 - 60} = 0,3 \frac{^\circ\text{C}}{\%_{\text{х.р.о.}}}$$

$$\Delta y = 150_{\text{мм}}$$

$$y_{0,33} = 0,33 \cdot 150_{\text{мм}} = 49,5$$

$$y_{0,7} = 0,7 \cdot 150_{\text{мм}} = 105$$

$$t_{0,33} = 28_c$$

$$t_{0,7} = 45_c$$

$$\tau_o = \frac{(3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7})}{2} = \frac{(3 \cdot 28 - 45)}{2} = 19,5c$$

$$T_o = \frac{(t_{0,7} - \tau_o)}{1,2} = \frac{(45 - 19,5)}{1,2} = 21,3c$$

$$W_o(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-19,5p}}{21,3p + 1}$$

Модель 2-го порядку

$$y_{0,19} = 0,19 \cdot 150_{\text{мм}} = 28,5$$

$$t_{0,19} = 21_c$$

$$\tau_o = \frac{(3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7})}{2} = \frac{(3 \cdot 21 - 45)}{2} = 9c$$

$$T_o = \frac{(t_{0,7} - \tau_o)}{2,4} = \frac{(45 - 9)}{2,4} = 15c$$

$$W_o(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-9p}}{(15p + 1)^2}$$

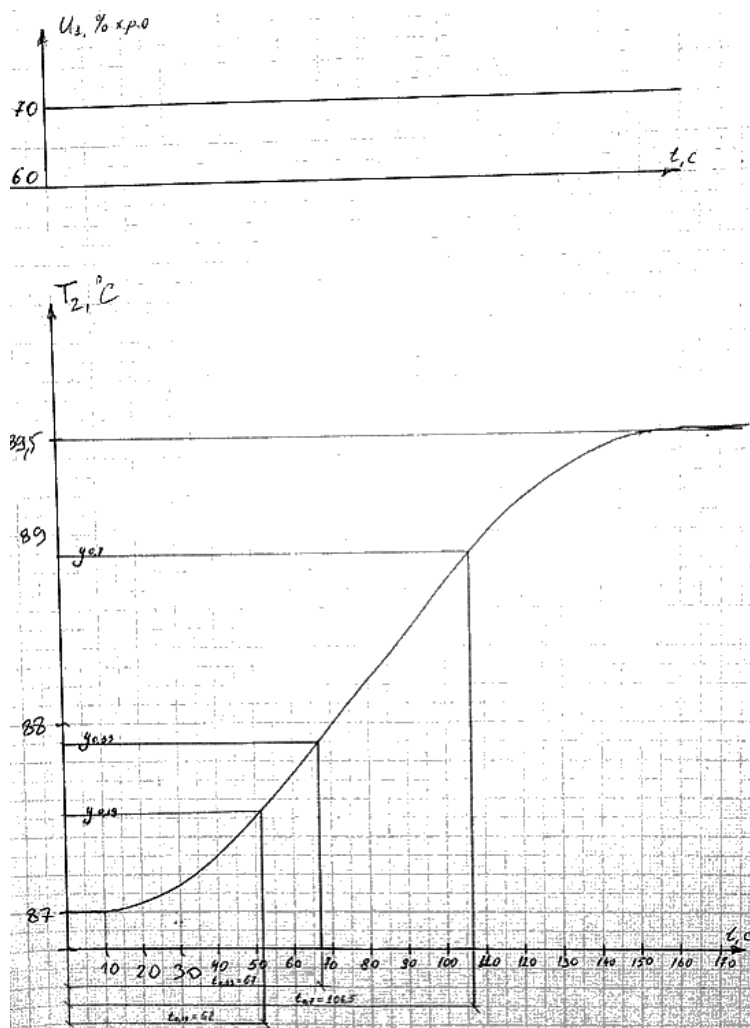


Рис. 2.7 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом "U1 – T2"

Модель 1-го порядку

$$K_o = \frac{\Delta T_1}{\Delta U_2} = \frac{89,5 - 87}{70 - 60} = 0,25 \frac{^\circ\text{C}}{\%_{\text{x.p.o.}}}$$

$$\Delta y = 125_{\text{мм}}$$

$$y_{0,33} = 0,33 \cdot 125_{\text{мм}} = 41,3$$

$$y_{0,7} = 0,7 \cdot 125_{\text{мм}} = 87,5$$

$$\tau_o = \frac{(3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7})}{2} = \frac{(3 \cdot 67 - 106,5)}{2} = 47,3\text{c}$$

$$T_o = \frac{(t_{0,7} - \tau_o)}{1,2} = \frac{(106,5 - 47,3)}{1,2} = 49,3\text{c}$$

$$W_o(p) = \frac{0,25 \cdot e^{-47,3p}}{49,3p + 1}$$

Модель 2-го порядку

$$y_{0,19} = 0,19 \cdot 125_{\text{MM}} = 23,75$$

$$t_{0,19} = 52_c$$

$$\tau_o = \frac{(3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7})}{2} = \frac{(3 \cdot 52 - 106,5)}{2} = 24,8c$$

$$T_o = \frac{(t_{0,7} - \tau_o)}{2,4} = \frac{(106,5 - 24,8)}{2,4} = 34c$$

$$W_o(p) = \frac{0,25 \cdot e^{-24,8p}}{(34p + 1)^2}$$

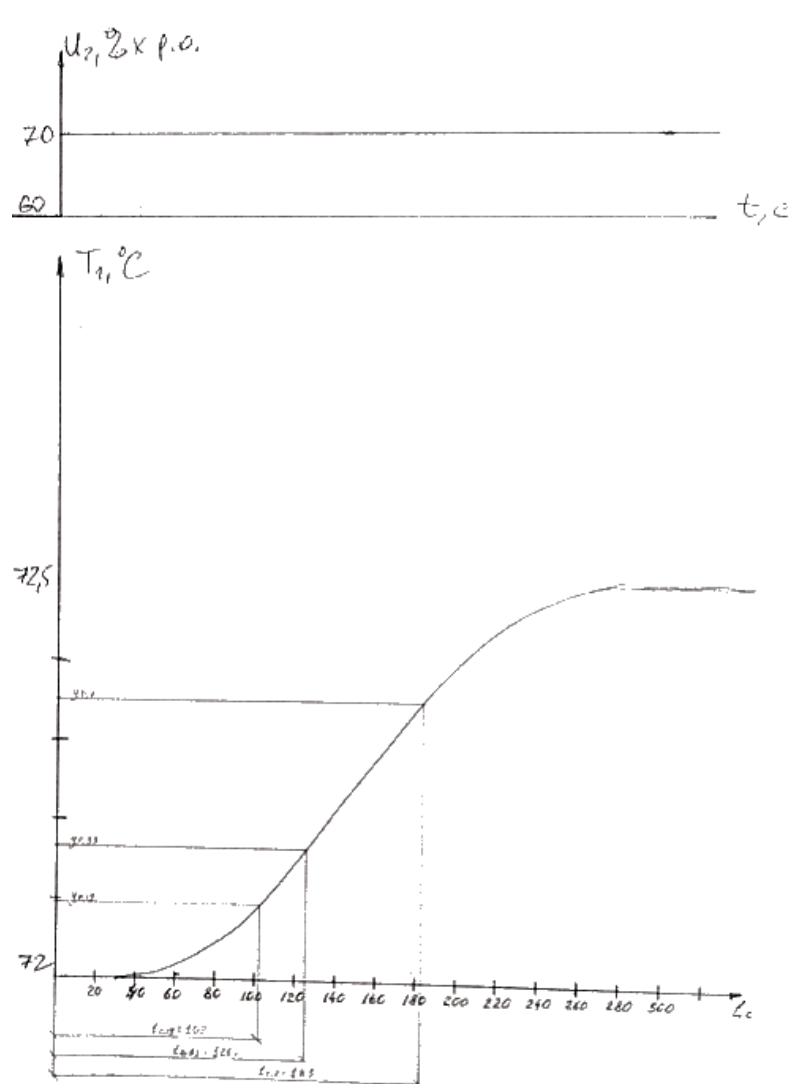


Рис. 2.8 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом "U2 – T1"

Модель 1-го порядку

$$K_o = \frac{\Delta T_1}{\Delta U_2} = \frac{72,5 - 72}{70 - 60} = 0,05 \frac{^\circ\text{C}}{\%_{\text{x.p.o.}}}$$

$$\Delta y = 100_{\text{MM}}$$

$$y_{0,33} = 0,33 \cdot 100_{\text{MM}} = 33$$

$$y_{0,7} = 0,7 \cdot 100_{\text{MM}} = 70$$

$$t_{0,33} = 126_c$$

$$\Delta y = 100_{\text{MM}}$$

$$\tau_o = \frac{(3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7})}{2} = \frac{(3 \cdot 126 - 183)}{2} = 97,5c$$

$$T_o = \frac{(t_{0,7} - \tau_o)}{1,2} = \frac{(183 - 97,5)}{1,2} = 71,3c$$

$$W_o(p) = \frac{0,05 \cdot e^{-97,5p}}{71,3p + 1}$$

Модель 2-го порядку

$$y_{0,19} = 0,19 \cdot 100_{\text{MM}} = 19$$

$$t_{0,19} = 102_c$$

$$\tau_o = \frac{(3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7})}{2} = \frac{(3 \cdot 102 - 183)}{2} = 61,5c$$

$$T_o = \frac{(t_{0,7} - \tau_o)}{2,4} = \frac{(183 - 61,5)}{2,4} = 50,6c$$

$$W_o(p) = \frac{0,05 \cdot e^{-61,5p}}{(50,6p + 1)^2}$$

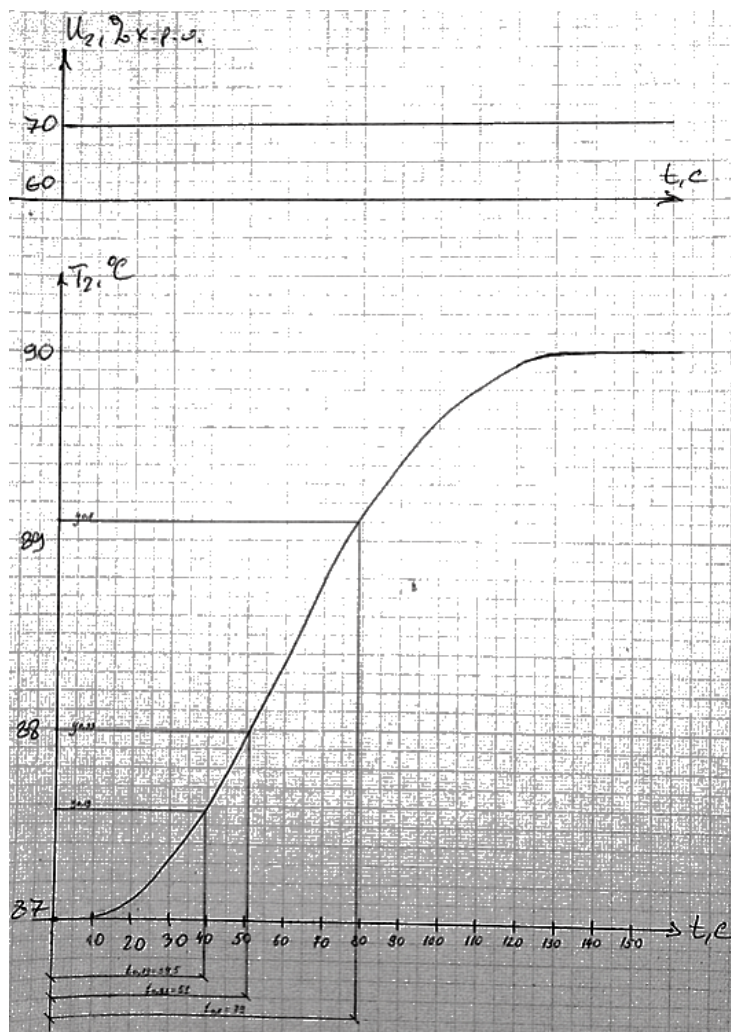


Рис. 2.9 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом "U2 – T2"

Модель 1-го порядку

$$K_o = \frac{\Delta T_1}{\Delta U_2} = \frac{90 - 87}{70 - 60} = 0,3 \frac{^\circ\text{C}}{\%_{\text{x.p.o.}}}$$

$$\Delta y = 150_{\text{MM}}$$

$$y_{0,33} = 0,33 \cdot 150_{\text{MM}} = 49,5$$

$$y_{0,7} = 0,7 \cdot 150_{\text{MM}} = 105$$

$$t_{0,33} = 51_c$$

$$t_{0,7} = 79$$

$$\tau_o = \frac{(3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7})}{2} = \frac{(3 \cdot 51 - 79)}{2} = 37_c$$

$$T_o = \frac{(t_{0,7} - \tau_o)}{1,2} = \frac{(79 - 37)}{1,2} = 35_c$$

$$W_o(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-37}}{35p + 1}$$

Модель 2-го порядку

$$y_{0,19} = 0,19 \cdot 150_{\text{мм}} = 28,5$$

$$t_{0,19} = 39,5_c$$

$$\tau_o = \frac{(3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7})}{2} = \frac{(3 \cdot 39,5 - 79)}{2} = 19,8c$$

$$T_o = \frac{(t_{0,7} - \tau_o)}{2,4} = \frac{(79 - 19,8)}{2,4} = 24,6c$$

$$W_o(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-19,8}}{(24,6p + 1)^2}$$

Проведемо структурний і параметричний синтез моделей стативи. Для цього сплануємо активний експеримент каналів ОК. Результати подано у табличному вигляді

Таблиця 2.1 Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

U ₂ , %х.р.о.	U ₁ , %х.р.о.	T1, °C	T2, °C
60	60	72	87
70	60	72,5	90
80	60	73	93
50	60	71,5	84
40	60	71	81
60	60	72	87
60	70	75	89,5
60	80	78	92
60	50	69	84,5
60	40	66	82

Побудова у графічному вигляді статичних характеристик ОК, попередня оцінка їх адекватності.

$$T_1 = f(U_1, U_2 = 60 \% \text{х.р.о.})$$

$$T_2 = f(U_2, U_1 = 60 \% \text{х.р.о.})$$

$$T_2 = f(U_1, U_2 = 60 \% \text{х.р.о.})$$

$$T_1 = f(U_2, U_1 = 60 \% \text{х.р.о.})$$

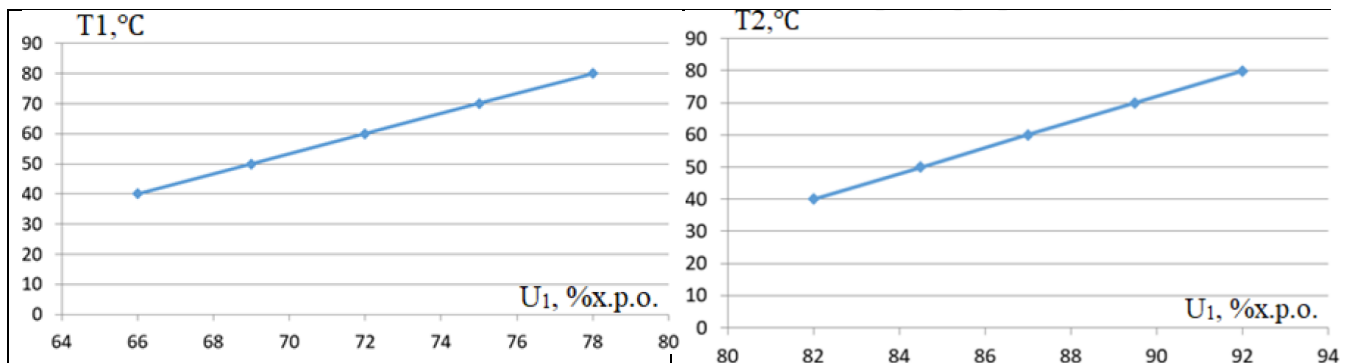


Рис 2.10-результат експерименту для визначення статичної характеристики ОК за каналом “U1-T1”

Рис 2.11-результат експерименту для визначення статичної характеристики ОК за каналом “U1-T2”

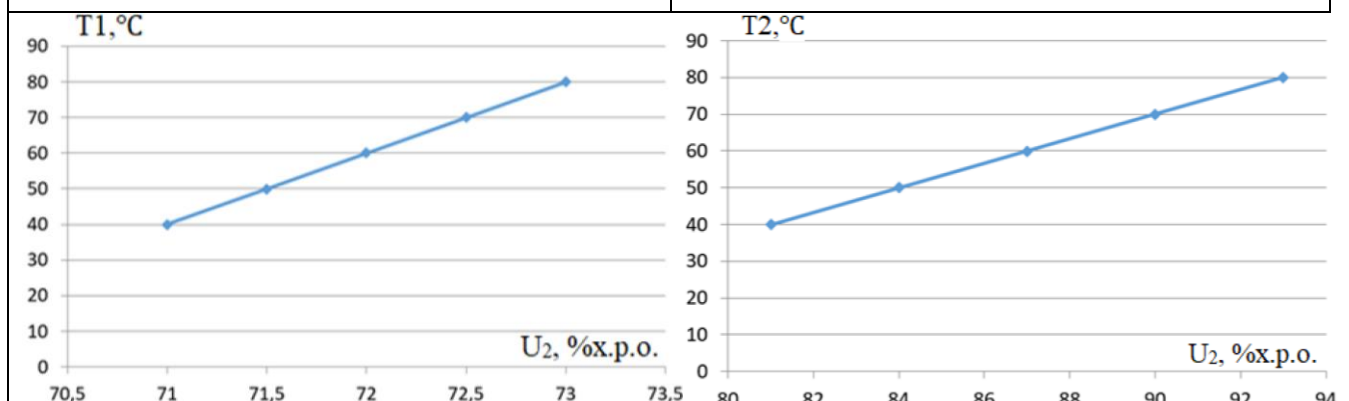


Рис2.12-результат експерименту для визначення статичної характеристики ОК за каналом “U2-T1”

Рис2.13-результат експерименту для визначення статичної характеристики ОК за каналом “U2-T2”

Провести параметричну ідентифікацію моделей каналів ОК.

$$T_1 = a_1 \cdot U_1 + a_2 \cdot U_2 + a_0$$

$$a_1 = K_{обU_1-T_1} = 0,3 \frac{^{\circ}\text{C}}{\% \text{х.р.о.}}$$

$$a_2 = K_{об_{U_2-T_1}} = 0,05 \frac{^{\circ}\text{C}}{\%_{\text{х.р.о.}}}$$

$$a_0 = T_1 - a_1 \cdot U_1 - a_2 \cdot U_2 = 72 - 0,3 \cdot 60 - 0,05 \cdot 60 = 51$$

$$\mathbf{T_1 = 0,3 \cdot U_1 + 0,05 \cdot U_2 + 51}$$

$$T_2 = b_1 \cdot U_1 + b_2 \cdot U_2 + b_0$$

$$b_1 = K_{об_{U_1-T_2}} = 0,25 \frac{^{\circ}\text{C}}{\%_{\text{х.р.о.}}}$$

$$b_2 = K_{об_{U_2-T_2}} = 0,3 \frac{^{\circ}\text{C}}{\%_{\text{х.р.о.}}}$$

$$b_0 = T_2 - b_1 \cdot U_1 - b_2 \cdot U_2 = 87 - 0,3 \cdot 60 - 0,25 \cdot 60 = 54^{\circ}\text{C}$$

$$\mathbf{T_2 = 0,3 \cdot U_1 + 0,25 \cdot U_2 + 54}$$

2.3 Ідентифікація математичних моделей збурень об'єкту керування

Запишемо передавальні функції за кожним каналом регулювання

Моделі повинні мати один вхід, вихід моделей виводиться на графік в одній системі координат. У цю ж систему координат зводяться експериментальні дані. Для додавання в схему експериментальних даних попередньо готують експериментальні дані в табличному виді і реалізують їх у компоненті Look-Up-Table. Для досліджуваного ОК експериментальні дані зведено в таблицю 4.1. Схема моделювання каналу управління ОК наведена нижче. Результати моделювання наведені нижче.

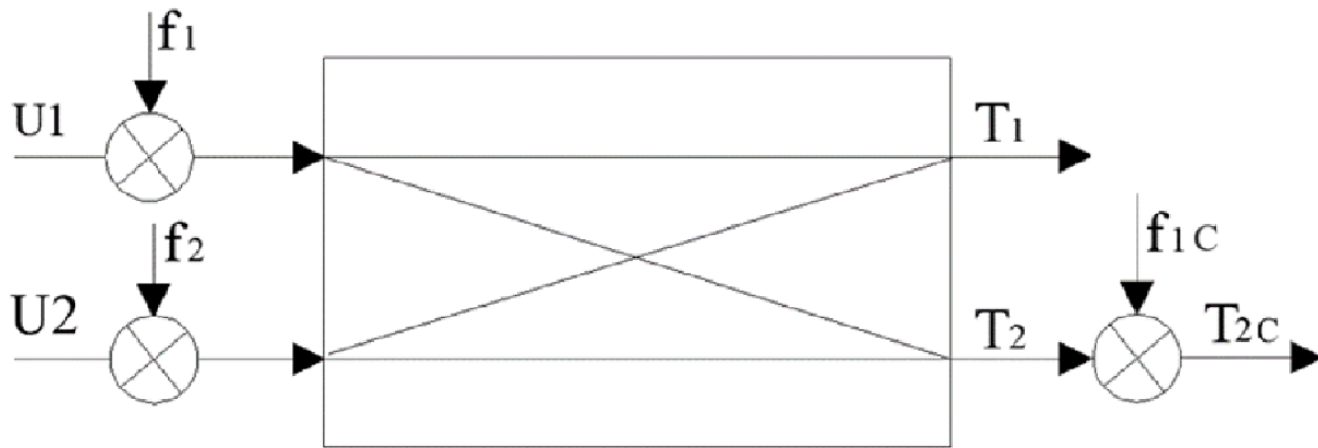


Рис. 2.16 – Структурна схема додавання координатних збурень

$U_2 - T_2$

Для досліджуваного ОК $T_1 = 72^\circ\text{C}$; $T_2 = 87^\circ\text{C}$.

Проводимо експеримент

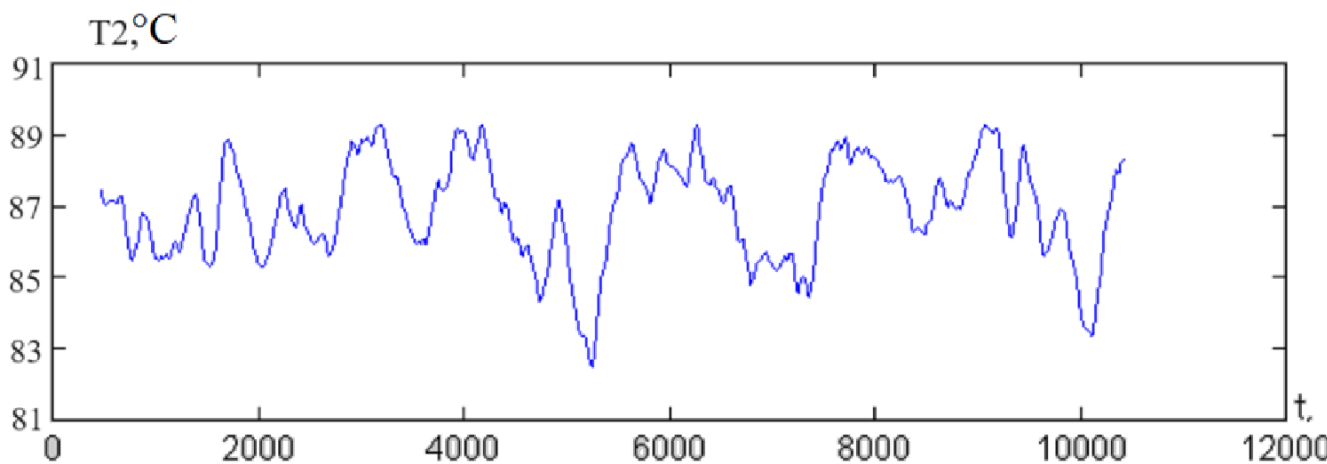


Рис. 2.17 – Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованого збурення для досліджуваного ОК

Провести структурну та параметричну ідентифікацію моделей збурень.

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

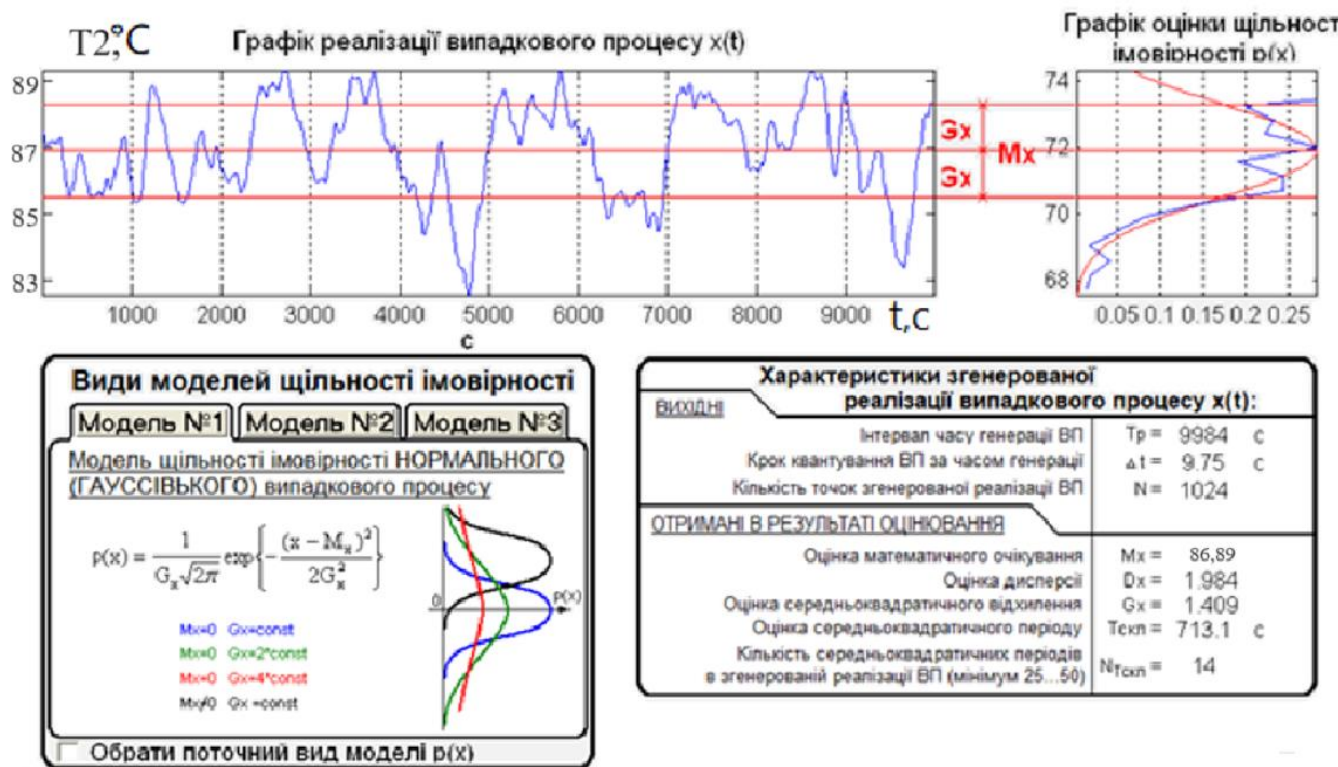


Рис. 2.18 – Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного неконтрольованим збуренням

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

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

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

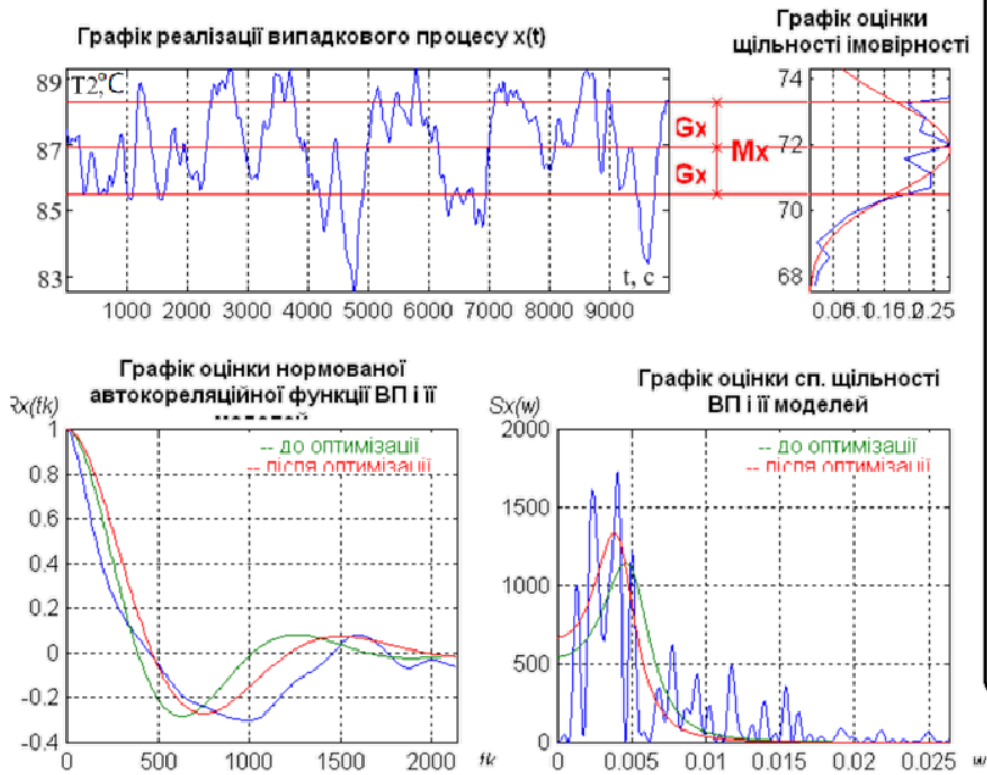
Найбільш схожі моделі №5 та №6. Для моделі №5 маємо дані розрахункові

формули:

Модель №5

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

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



Обрані Вами моделі Rx та Sx

$$R_x(\tau_k) = D_x \exp(-\alpha|\tau_k|) \cos(\beta|\tau_k|) + \frac{\alpha^2}{\beta} \sin(\beta|\tau_k|)$$

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

Розрахунок початкових наближень оптимізованих параметрів можна здійснювати, використовуючи нижченаведені рекомендації

$$R_x(\tau_k)$$

$$\alpha^{\circ} = \frac{1}{\Delta\tau_{k1}}$$

$$\beta^{\circ} = \frac{2\pi}{\Delta\tau_{k2}}$$

№6

ОПТИМІЗАЦІЯ

Вибір методу оптимізації

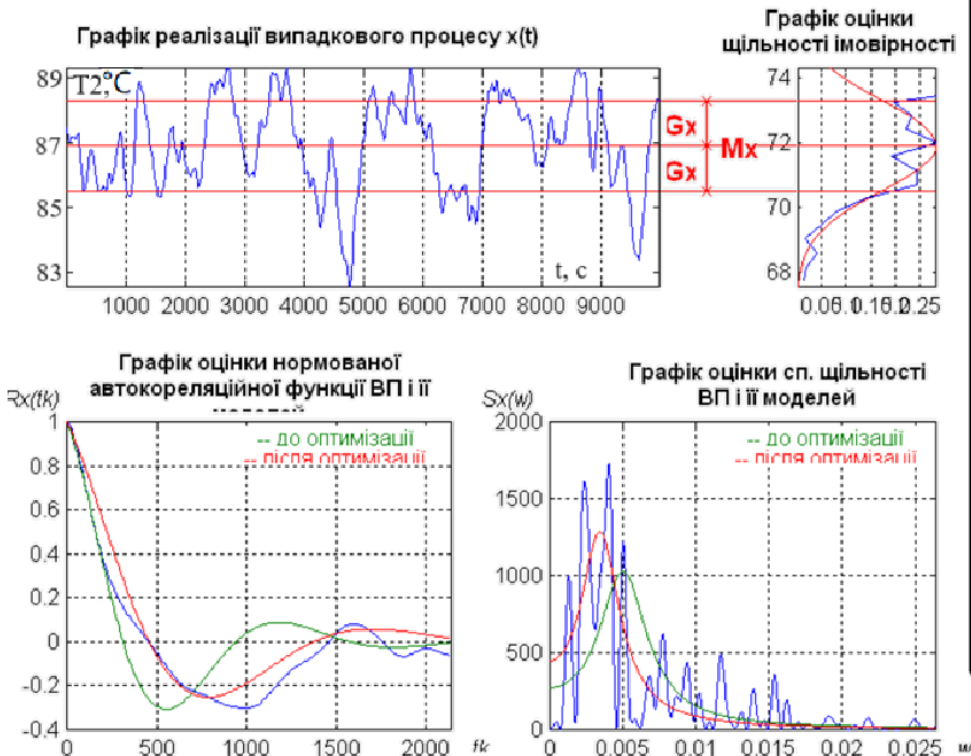
- за автокореляційною функцією
- за спектральною щільністю

Налаштування параметрів оптимізації

макс кількість кроків оптимізації	100			
мінімальне збільшення критерію	0.0			
мінімальне збільшення аргументу	0.0			
ниж. обм.	поч. набл.	верх. обм.	оптим. знач.	
α	0.000	0.002	0.02	0.00173
β	0.000	0.005	0.05	0.00418
факт. кількість кроків оптимізації	24			
Значення критерію оптимальності	до оптим-ції	3.04		
	після опт-ції	2.60		

Зберегти Відміна Повторити

Рис. 2.19 – Результати параметричної ідентифікації моделі №6 неконтрольованих збурень



Обрані Вами моделі Rx та Sx

$$R_x(\tau_k) = D_x \exp(-\alpha|\tau_k|) \cos(\beta|\tau_k|)$$

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

Розрахунок початкових наближень оптимізованих параметрів можна здійснювати, використовуючи нижченаведені рекомендації

$$R_x(\tau_k)$$

$$\alpha^{\circ} = \frac{1}{\Delta\tau_{k1}}$$

$$\beta^{\circ} = \frac{2\pi}{\Delta\tau_{k2}}$$

№5

ОПТИМІЗАЦІЯ

Вибір методу оптимізації

- за автокореляційною функцією
- за спектральною щільністю

Налаштування параметрів оптимізації

макс кількість кроків оптимізації	100			
мінімальне збільшення критерію	0.01			
мінімальне збільшення аргументу	0.01			
ниж. обм.	поч. набл.	верх. обм.	оптим. знач.	
α	?	0.002	0.02	0.001621
β	0.000	0.005	0.05	0.003433
факт. кількість кроків оптимізації	38			
Значення критерію оптимальності	до оптим-ції	3.485		
	після опт-ції	1.678		

Зберегти Відміна Повторити

Рис. 2.20 – Результати параметричної ідентифікації моделі №5 неконтрольованих збурень

Обираємо модель збурень

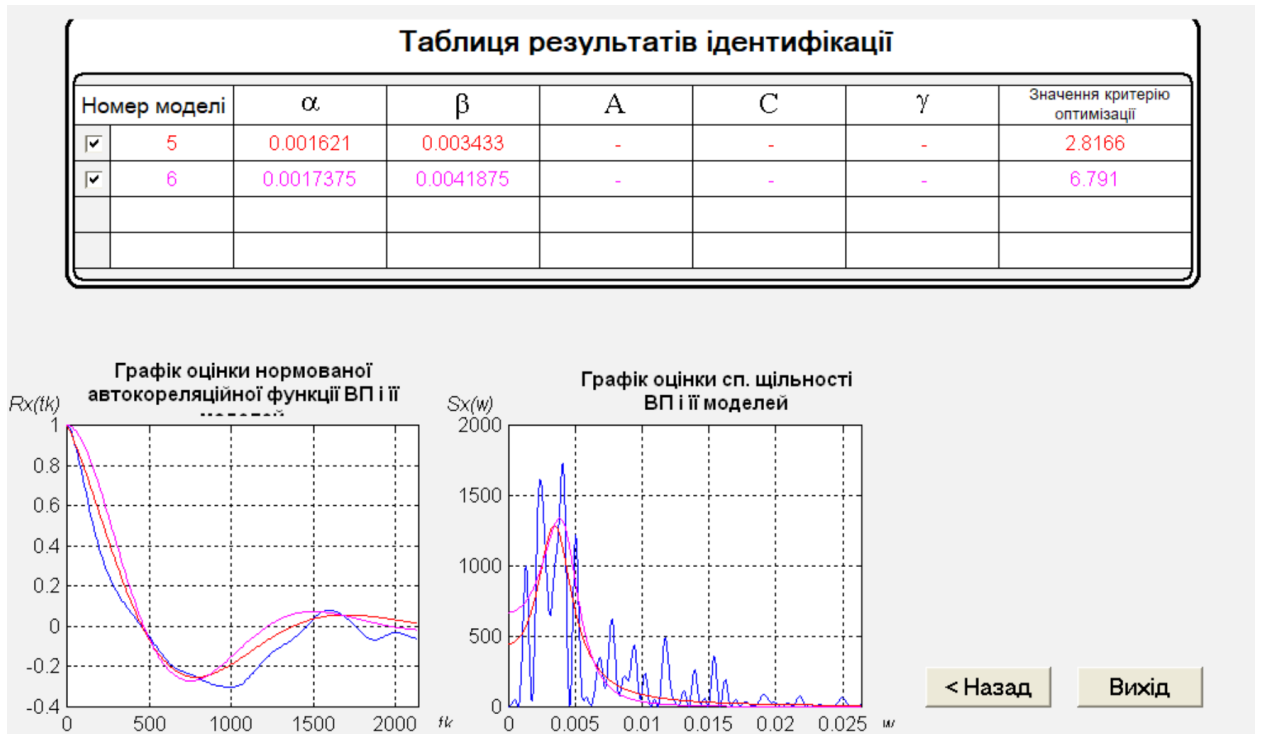


Рис. 2.21 – Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень . Ідентифікація моделей випадкових складових неконтрольованих збурень показала, що за квадратом відхилення моделі автокореляційної функції від її оцінки, кращою виявилася модель №5.

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

Реалізуємо моделі у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним

Відтворимо моделі каналів об'єкту керування у середовищі імітаційного моделювання. Експериментальні данні заведемо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.2 -Експериментальні данні для відтворення апроксимацій

U1-T1	t,c	U1-T2	t,c	U2-T1	t,c	U2-T2	t,c
72	0	87	0	72	0	87	0
72	5	87	10	72	10	87	10
72,1	10	87,04	20	72	20	87,1	20
72,26	15	87,14	30	72,005	40	87,32	30
72,5	20	87,3	40	72,015	60	87,58	40
72,8	25	87,5	50	72,045	80	87,96	50
73,12	30	87,73	60	72,085	100	88,34	60
73,48	35	87,98	70	72,145	120	88,78	70
73,78	40	88,22	80	72,215	140	89,14	80
74,1	45	88,46	90	72,274	160	89,4	90
74,36	50	88,74	100	72,274	180	89,64	100
74,58	55	88,96	110	72,34	200	89,8	110
74,76	60	88,16	120	72,395	220	89,92	120
74,9	65	89,3	130	72,44	240	89,98	130
74,98	70	89,42	140	72,47	260	90	140
75	75	89,48	150	72,49	280	90	150
75	80	89,5	160	72,5	290	90	160
		89,5	170	72,5	300		

Таблиця 2.3 – Передаточні функції моделі ОК за кожним каналом

Канал	Модель 1-го порядку	Модель 2-го порядку
«U1 – T1»	$W_o(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-19,5p}}{21,3p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-9p}}{(15p + 1)^2}$
«U1 – T2»	$W_o(p) = \frac{0,25 \cdot e^{-47,3p}}{49,3p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,25 \cdot e^{-24,8p}}{(34p + 1)^2}$
«U2 – T1»	$W_o(p) = \frac{0,05 \cdot e^{-97,5p}}{71,3p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,05 \cdot e^{-61,5p}}{(50,6p + 1)^2}$
«U2 – T2»	$W_o(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-37}}{35p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-19,8}}{(24,6p + 1)^2}$

Відтворити кусочно-лінійні апроксимації експериментальних даних у середовищі імітаційного моделювання.

Експериментальні данні було наведено у таблиці 2.1

Канал «U1 – T1»

Побудуємо схеми моделювання ОК за кожним каналом

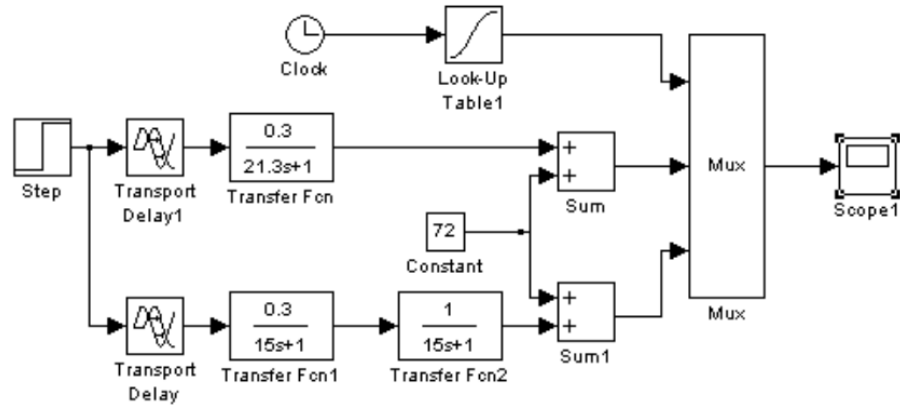


Рис. 2.22 – Схема моделювання каналу управління ОК за каналом «U1 – T1»

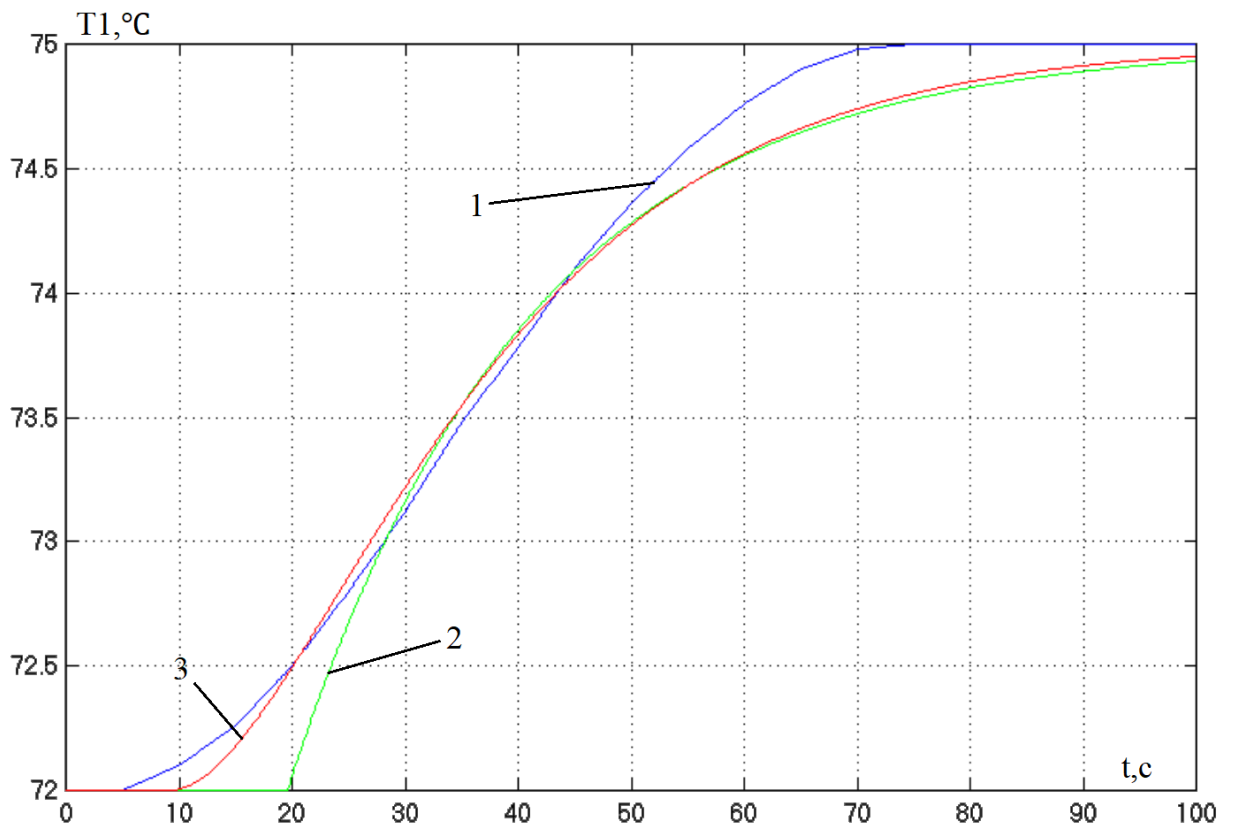


Рис. 2.23 – Результати моделювання ОК по каналу «U1 – T1»

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

Канал «U1 – T2»

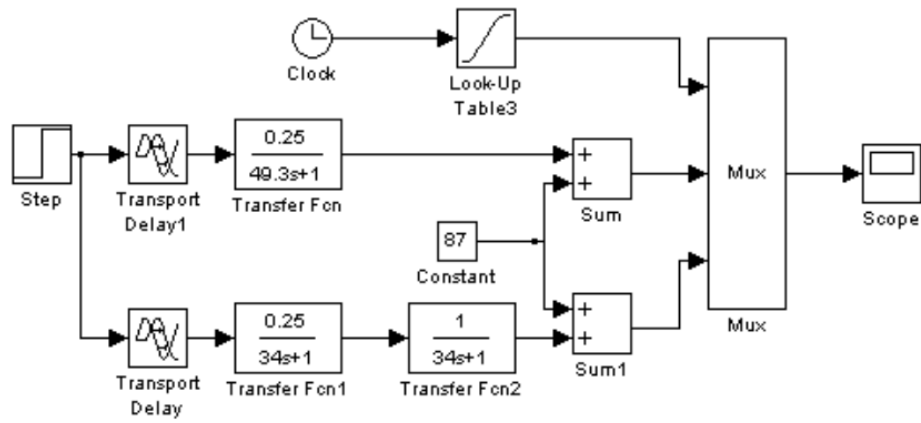


Рис. 2.24 – Схема моделювання каналу управління ОК за каналом «U1 – T2»

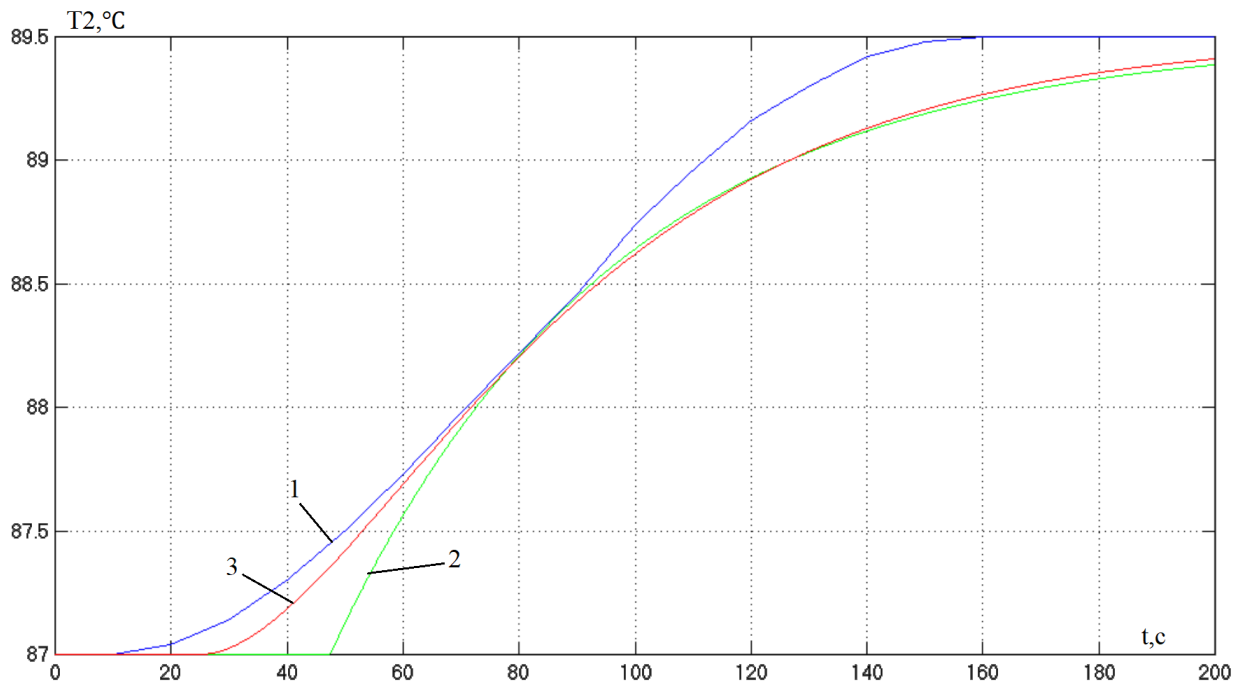


Рис. 2.25 – Результати моделювання ОК по каналу «U1 – T2»

Увеличить шрифт осей T и T,c

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

Канал «U2 – T1»

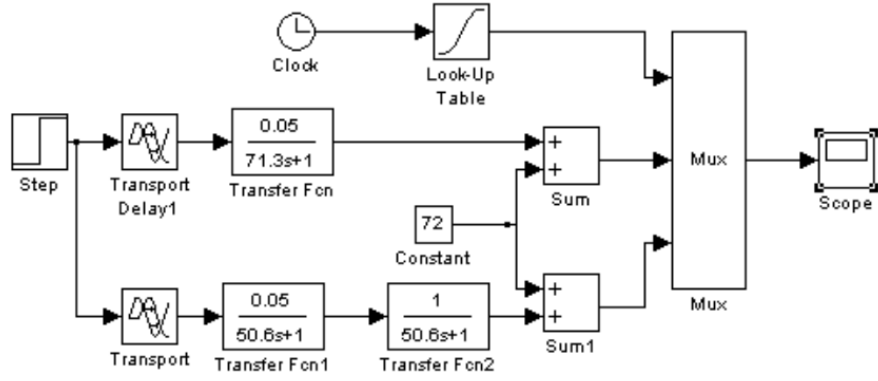


Рис. 2.26 – Схема моделювання каналу управління ОК за каналом «U2 – T1»

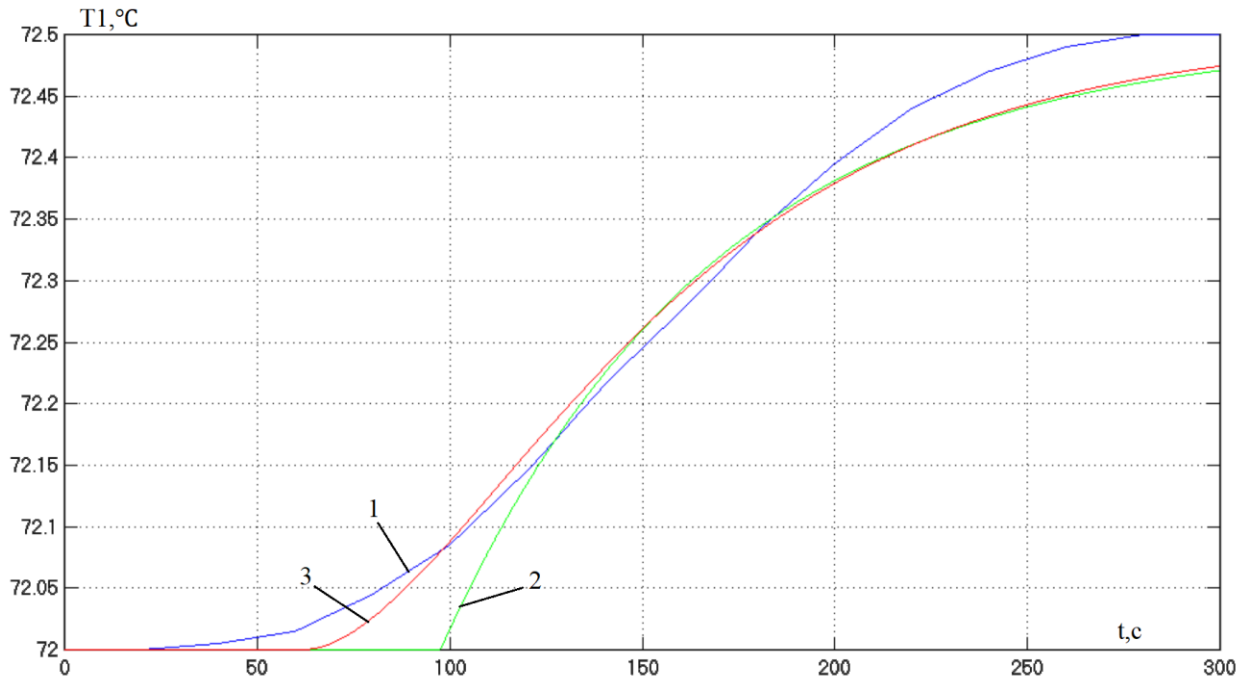


Рис. 2.27 – Результати моделювання ОК по каналу «U2 – T1»

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

Канал «U2 – T2»

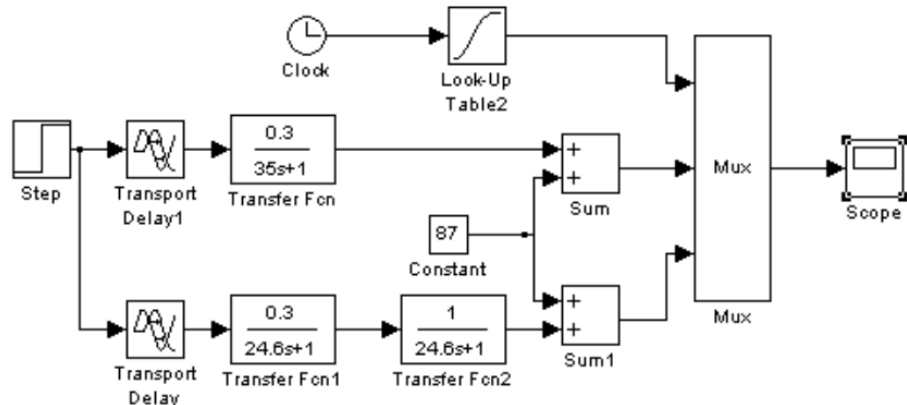


Рис. 2.28 – Схема моделювання каналу управління ОК за каналом «U2 – T2»

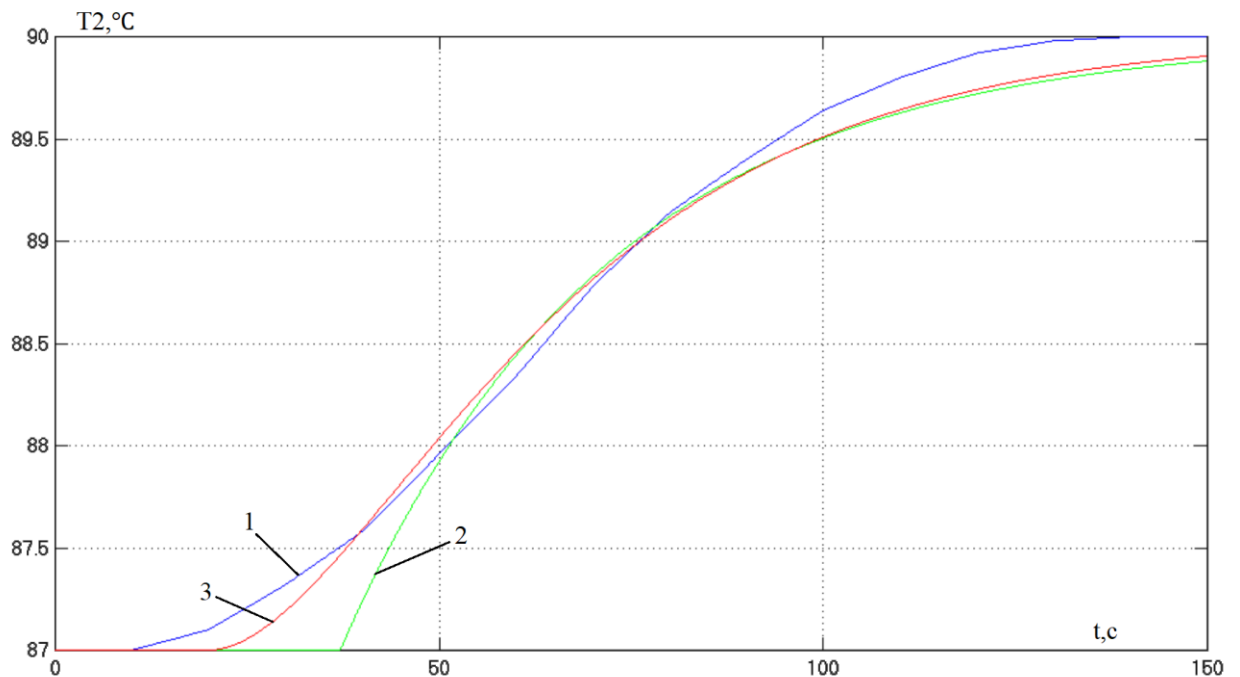


Рис. 2.29 – Результати моделювання ОК по каналу «U2 – T2»

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

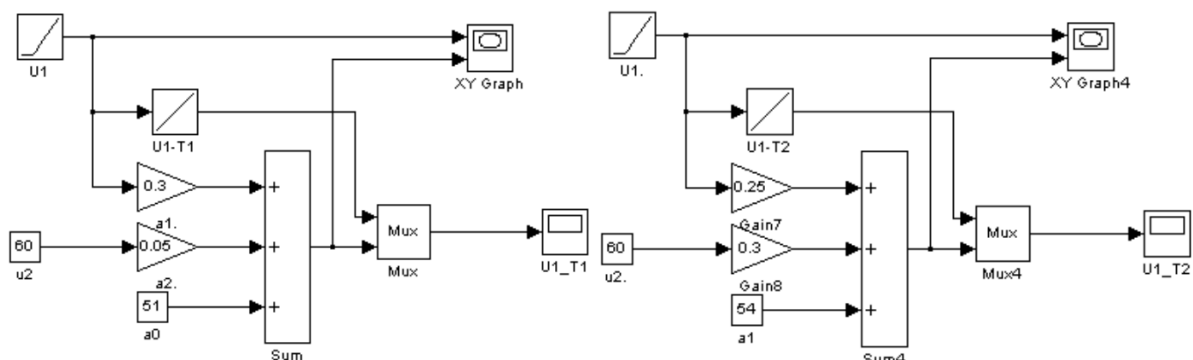
Реалізуємо у вигляді схеми моделювання модель каналів ОК з урахуванням моделей статки

Провести структурну ідентифікацію моделей каналів ОК.

$$T_1 = 0,3 \cdot U_1 + 0,05 \cdot U_2 + 51$$

$$T_2 = 0,3 \cdot U_1 + 0,25 \cdot U_2 + 54$$

Провести порівняльний аналіз результатів моделювання та експериментальних даних.



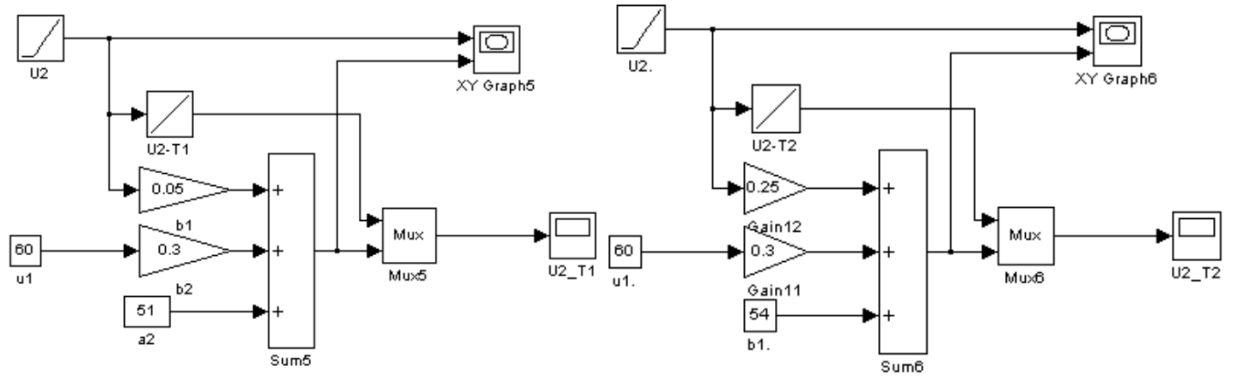
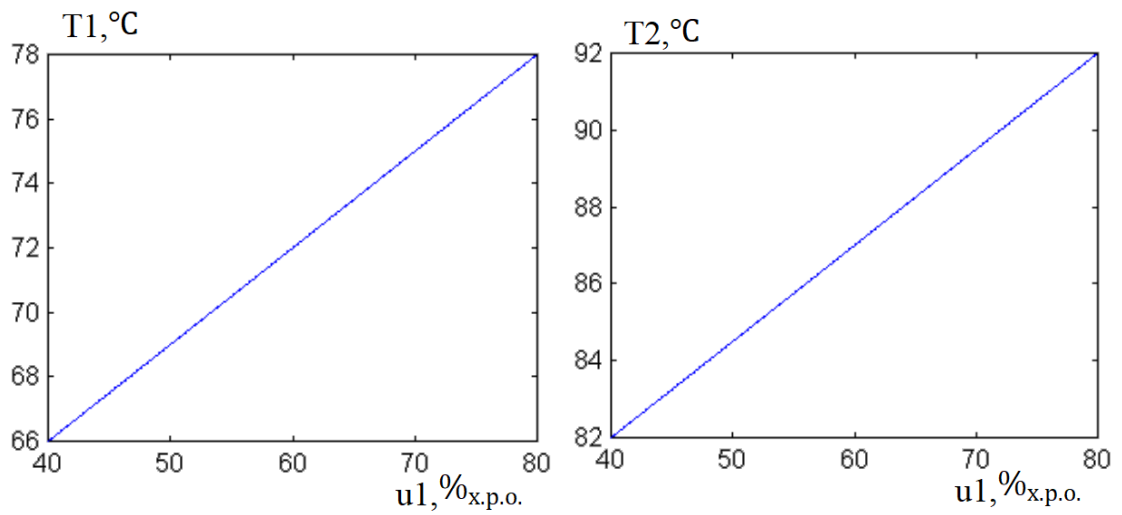


Рис. 2.14 Схема порівняльного аналізу результатів моделювання в імітаційному середовищі matlab Simulink

Нижче наведено результати моделювання за каналом “U1-T1”; “U1-T2”; “U2-T1”; “U2-T2” на рисунку 2.14



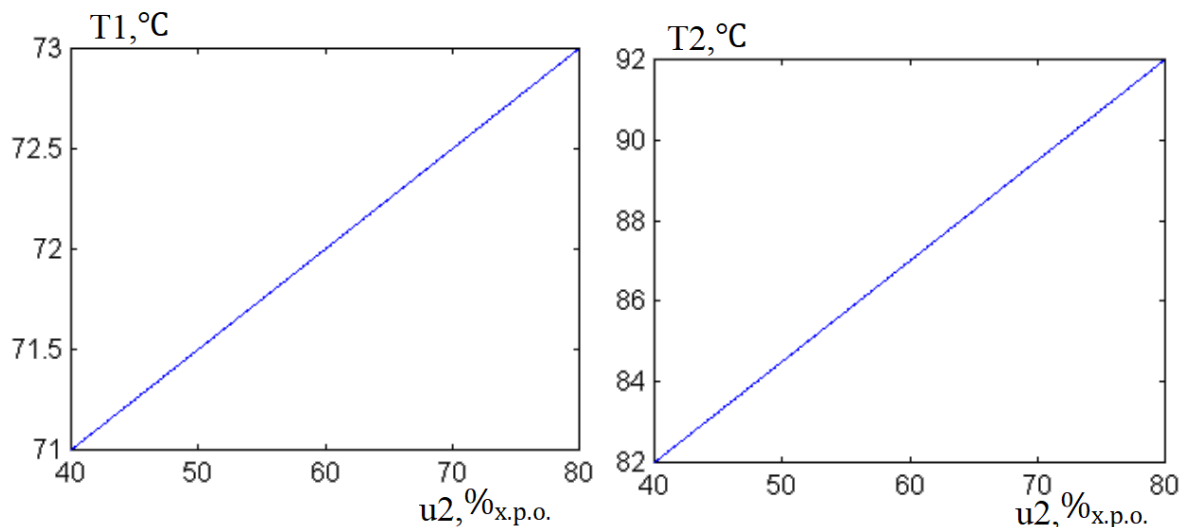


Рис 2.15 результати моделювання за каналом “U1-T1”; “U1-T2”; “U2-T1”; “U2-T2”

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

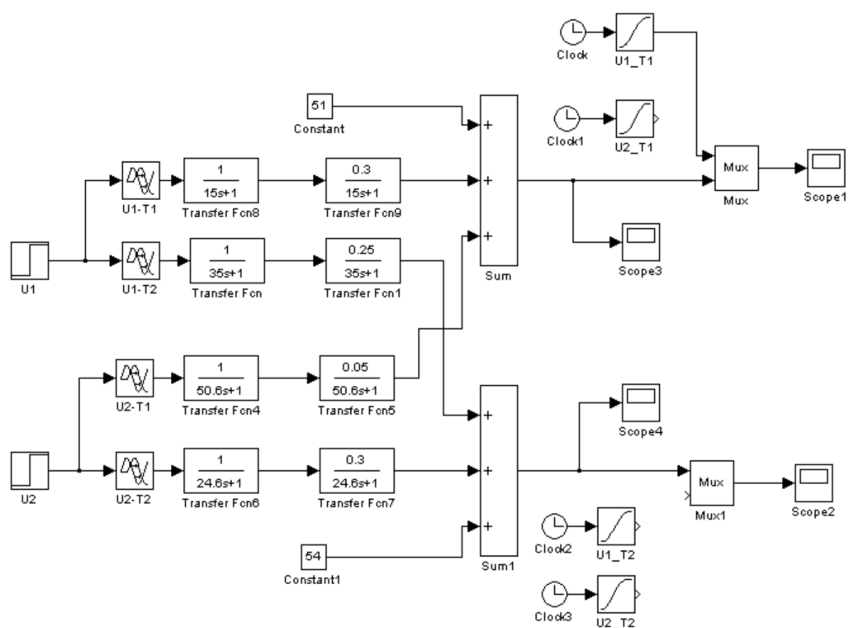


Рис. 2.30 – Схема моделювання повної моделі каналі ОК в середовищі Матлаб по каналу «U – T»

Налаштовуємо модель в абсолютних значеннях

Проводимо комп'ютерні експерименти порівняння експериментальних даних з моделлю

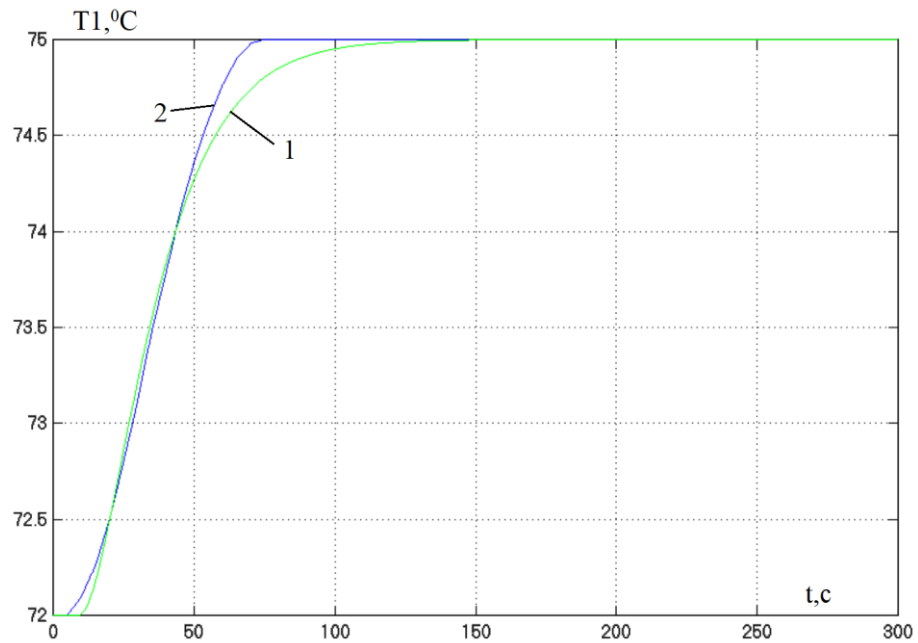


Рис. 2.31 – Результати реалізації повної моделі ОК в середовищі Матлаб по каналу «U1 – T1»

1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 2-го порядку з урахуванням моделей статички

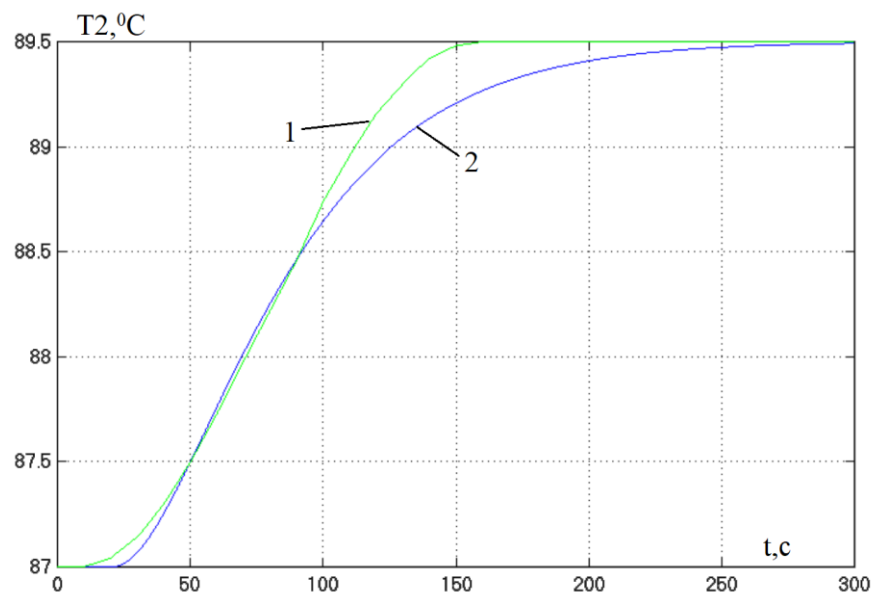


Рис. 2.32 – Результати реалізації повної моделі ОК в середовищі Матлаб по каналу «U1 – T2»

1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 2-го порядку з урахуванням моделей статички

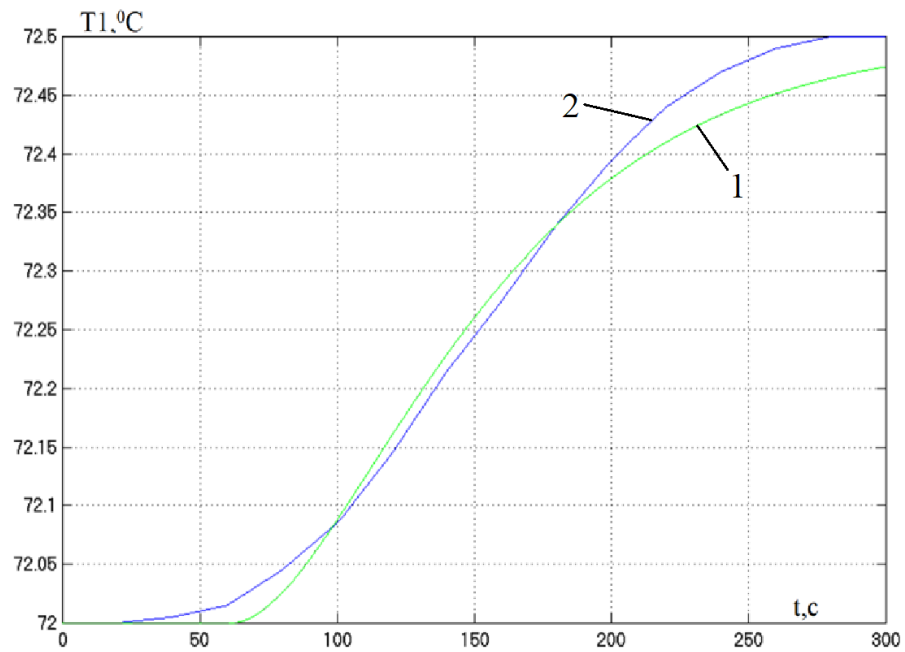


Рис. 2.33 – Результати реалізації повної моделі ОК в середовищі Матлаб по каналу «U2 – T1»

1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 2-го порядку з урахуванням моделей статички

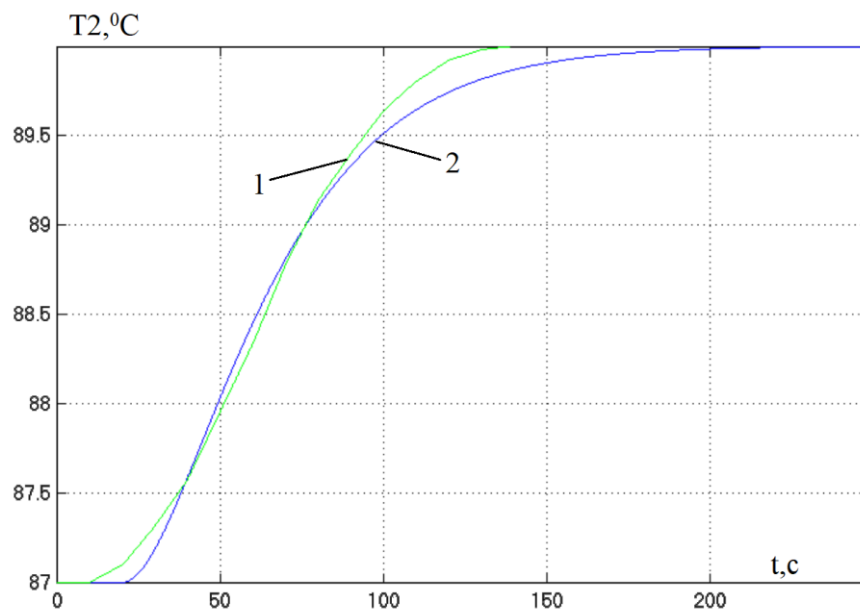


Рис. 2.34 – Результати реалізації повної моделі ОК в середовищі Матлаб по каналу «U2 – T2»

1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 2-го порядку з урахуванням моделей статички

При виконанні даного підрозділу провели синтез імітаційної моделі каналів ОК в абсолютних значеннях. Основою імітаційною моделі склали моделі каналів ОК другого порядку та моделей статистики. 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 метода формуючого фільтра матиме вигляд:

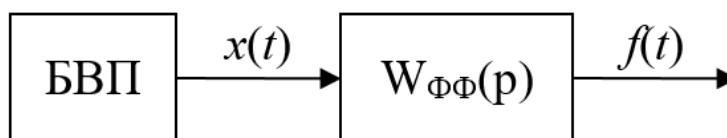


Рис. 2.35 – Структурна схема моделі СП

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

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

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

$$S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 \cdot \Delta t_2}{3},$$

де G_x - середньоквадратичне відхилення процесу $x(t)$, Δt_2 – крок генерації випадкового процесу.

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

Для моделі №5

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

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

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

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

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

А після заміни

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

де $k = \frac{\sqrt{2D_f a}}{\sqrt{a^2 + \beta^2}}$ $T = \frac{1}{\sqrt{a^2 + \beta^2}}$ $\xi = \frac{\alpha}{\sqrt{a^2 + \beta^2}}$

$$\sigma_x = \sigma_f / 2 = 1,409 / 2 = 0,7045$$

$$\Delta t_\Gamma = \frac{1}{(2 \dots 3)\alpha} = \frac{1}{3 \cdot 0,001621} \dots \frac{1}{2 \cdot 0,001621} = 206 \dots 308 \approx 300c$$

Виберемо крок генерації.

$$S_x(\omega) = \sigma_x^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta t_\Gamma}{3} = 0,7045^2 \cdot \frac{2 \cdot 300}{3} = 99,3$$

$$k = \sqrt{\frac{2D_f a}{a^2 + \beta^2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,984 \cdot 0,001621}{0,001621^2 + 0,003433^2}} = 21,1$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{a^2 + \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,001621^2 + 0,003433^2}} = 263,4$$

$$\xi = \frac{a}{\sqrt{a^2 + \beta^2}} = \frac{0,001621}{\sqrt{0,001621^2 + 0,003433^2}} = 0,4$$

$$W_{\Phi\Phi}(p) = k \frac{Tp + 1}{T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1}$$

Вихідна передаточна функція формуючого фільтра

$$W_{\Phi\Phi}(p) = 21,1 \frac{263,4p + 1}{263,4^2 p^2 + 2 \cdot 0,4 \cdot 263,4p + 1}$$

Далі потрібно розробити схему моделювання, провести моделювання для розрахункових параметрів формуючого фільтра, оцінити похибку відтворення моделі збурення.

Сигнал неконтрольованих збурень

Повинен відповідати таким статистичним параметрам:

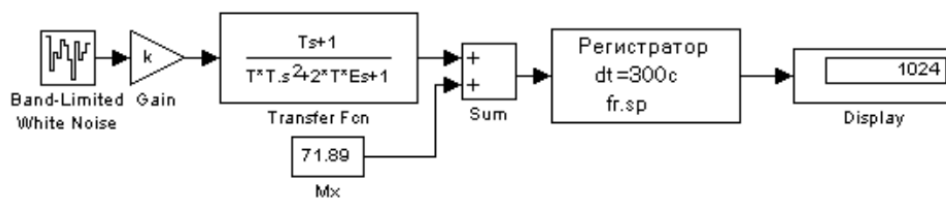


Рис. 2.36- Схема моделювання стохастичної складової із розрахунковими параметрами формуючого фільтра.

Налаштування елемента Band-Limited White Noise:

$$\text{Noise power} = S_x(\omega) = 99,3;$$

$$\text{Sample time} = \Delta t_{\Gamma} = 300 \text{ c};$$

$$\text{Seed} = 1$$

Кількість точок моделювання $N = 1024$

$$T_p = N \cdot \Delta t_T = 1024 \cdot 300 = 307\,200 \text{ c}$$

Результати моделювання наведені на рис. 4.21.

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M = \frac{|M - \hat{M}|}{M} \cdot 100 = \frac{|71,89 - 71,92|}{71,89} \cdot 100 = 0,04\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma = \frac{|\sigma - \hat{\sigma}|}{\sigma} \cdot 100 = \frac{|1,409 - 14,19|}{1,409} \cdot 100 = 907\%$$

Точність відтворення коефіцієнту спаду:

$$\Delta \alpha = \frac{|\alpha - \hat{\alpha}|}{\alpha} \cdot 100 = \frac{|0,001621 - 0,00145|}{0,001621} \cdot 100 = 10\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta \beta = \frac{|\beta - \hat{\beta}|}{\beta} \cdot 100 = \frac{|0,003433 - 0,003581|}{0,003433} \cdot 100 = 4,3\%$$

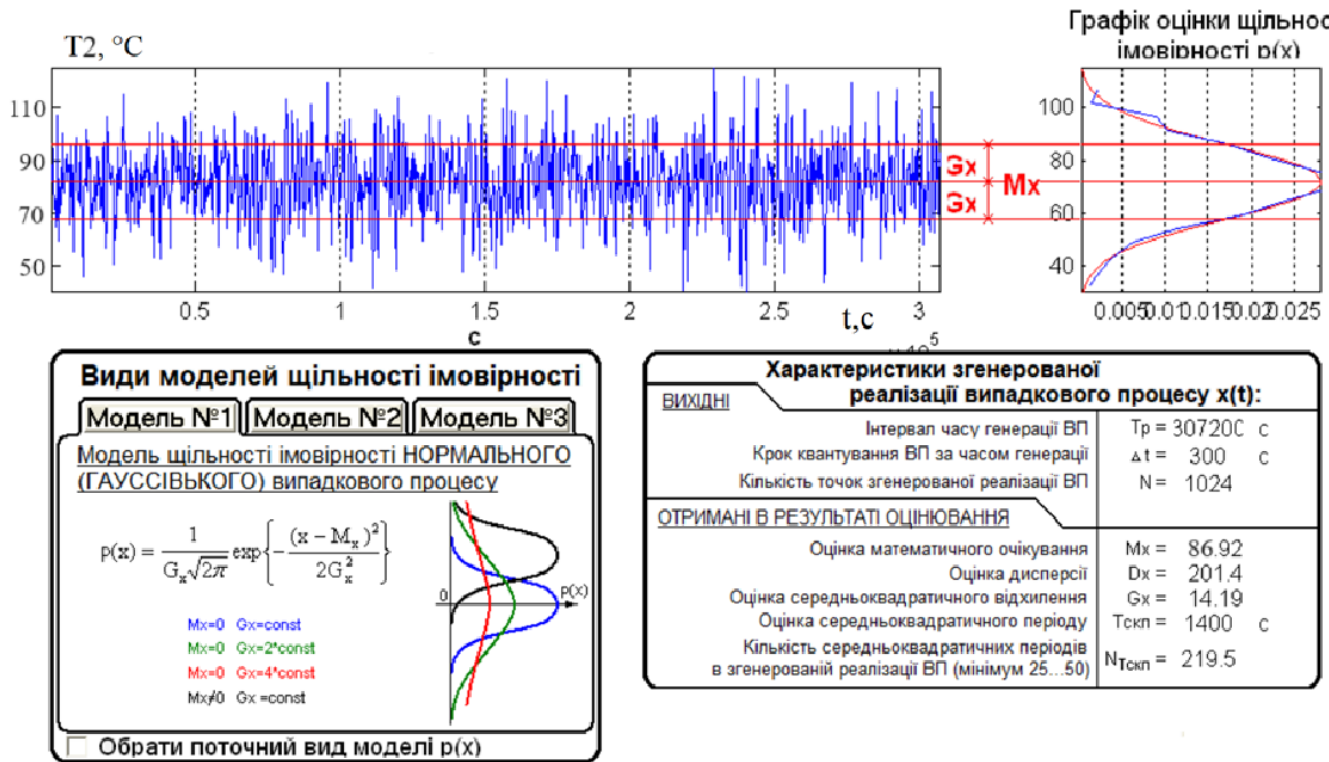


Рис 2.37–Результат моделювання неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра.

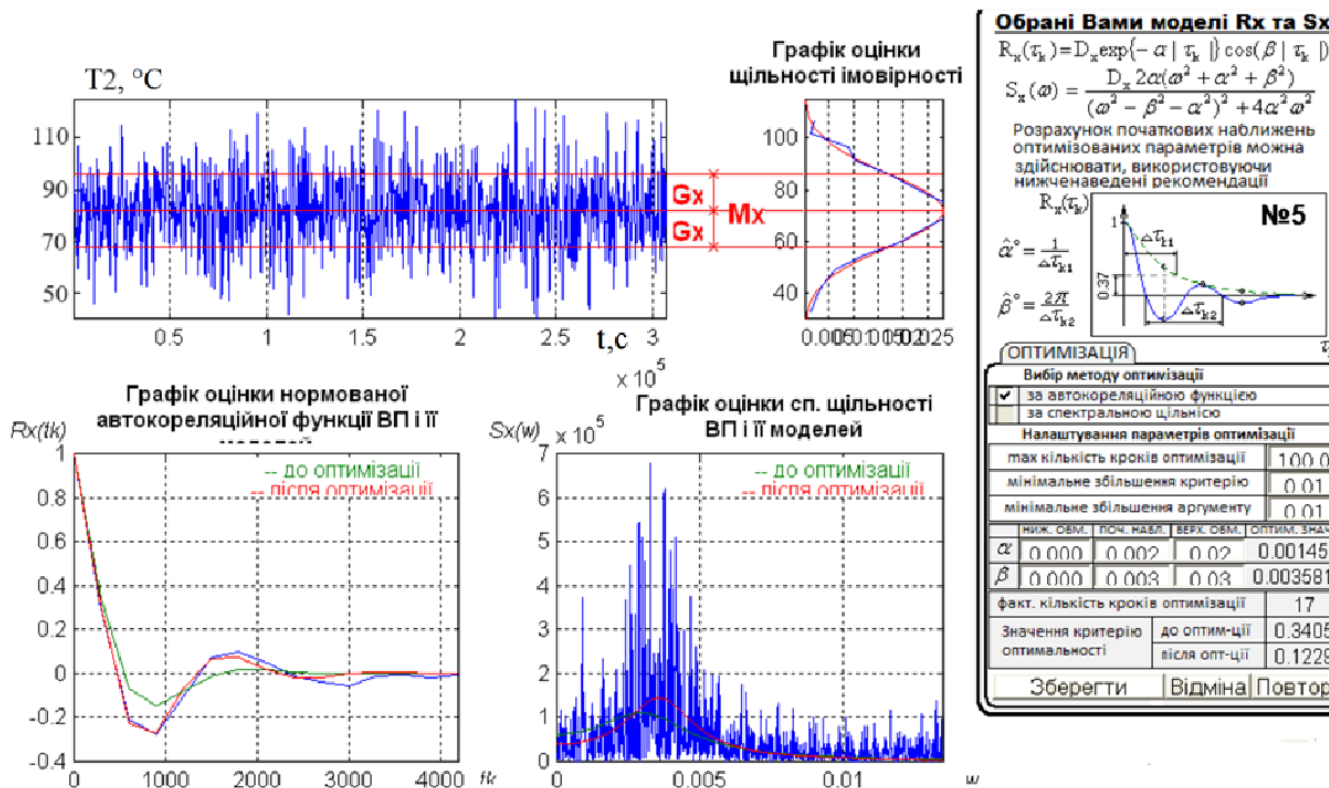


Рис. 2.38 – Результати моделювання неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Похибка відтворення σ_f , α і β більша від 5%, а значить необхідно провести коректування параметрів формуючого фільтра. Після коректування були отримані наступні параметри формуючого фільтра: $k = 21,68$. Результати моделювання наведені на рис. 4.19



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

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M = \frac{|M - \hat{M}|}{M} \cdot 100 = \frac{|86,89 - 86,92|}{86,89} \cdot 100 = 0,04\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma = \frac{|\sigma - \hat{\sigma}|}{\sigma} \cdot 100 = \frac{|14,19 - 14,19|}{14,19} \cdot 100 = 0\%$$

Точність відтворення коефіцієнта спаду:

$$\Delta \alpha = \frac{|\alpha - \hat{\alpha}|}{\alpha} \cdot 100 = \frac{|0,001621 - 0,00158|}{0,001621} \cdot 100 = 2,4\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta\beta = \frac{|\beta - \hat{\beta}|}{\beta} \cdot 100 = \frac{|0,003433 - 0,003581|}{0,003433} \cdot 100 = 4,3\%$$

Похибка відтворення σ_f , α і β менша від 5%, а значить точність моделі неконтрольованих збурювань є достатньою.

2.5. Висновок до розділу:

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.

В якості базової моделі відтворення неконтрольованого збурення, як випадкового процесу, прикладеного до T2, 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.

Аналіз технологічного процесу підігріву води показав, що концептуально процес можна представити двома регульованими координатами: регульованої координати доцільно обрати температуру котлового контуру та температуру води (T2), що приходить до котла(T1).

Було проведено ідентифікацію математичних моделей динаміки каналів ОК, вхідні дії яких доступні для цілеспрямованої зміни. В якості вихідних даних було

використано результати активного експерименту. Усі канали ОК мають статичні властивості. Параметричну ідентифікацію проведено за методиками двох загальних точок для 1-го та 2-го порядку.

Отримано математичну модель неконтрольованих збурень, що діють на канал температури води (T1) під час роботи об'єкту. Вихідні дані отримано за результатами пасивного експерименту. Ідентифікація проводилася методом типової статистичної ідентифікації. За умов процесу нагріву води кращою виявилася модель № 5.

Отримані математичні моделі було перевірено на відповідність експериментальним даним. Як показали результати перевірки, і моделі окремих каналів ОК, і повна модель каналів ОК в абсолютних величинах, і повна модель ОК за результатами імітаційного моделювання відповідають експериментальним даним. Модель неконтрольованих збурень відповідає результатам оцінювання математичної моделі цих .

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

3.1. Конкретизація задач регулювання 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 (T_1 та T_2) на її заданому значенні ($T_1^{здн}$, $T_2^{здн}$) - задача регулювання.
- пристосування в процесі роботи об'єкту управління до його змінних властивостей - задача адаптації;
- забезпечення ефективних режимів роботи об'єкту керування - задача оптимізації;
- забезпечити ввімкнення і вимкнення при пусках, зупинках, аварійних ситуаціях - завдання логічного керування.

Для якісної і економічно доцільної реалізації технологічного процесу підігріву води необхідно регулювати температуру води контуру подачі води T_1 та температуру води котлового контуру T_2 .

Процес підігріву 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 задач 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.

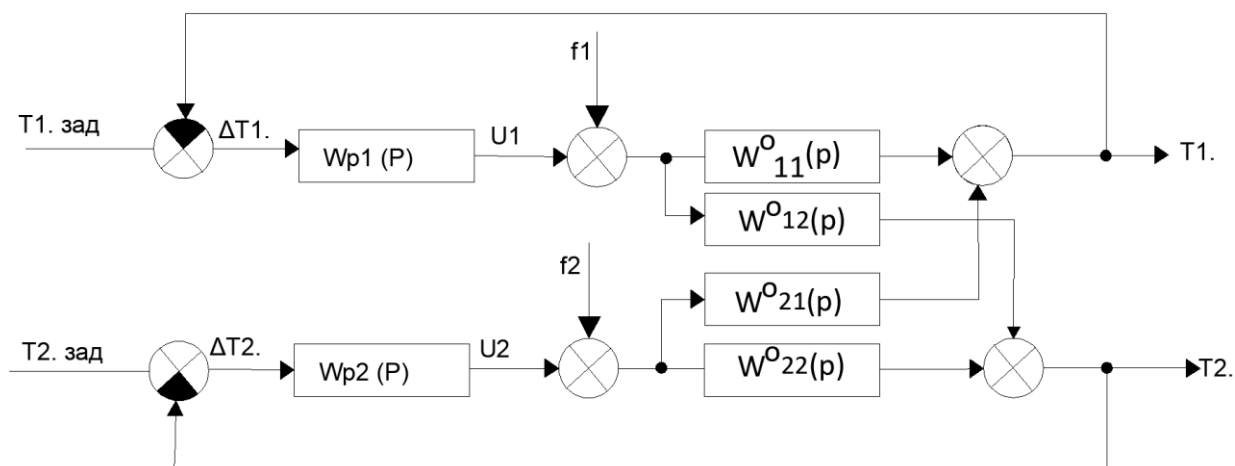


Рис 3.1 Структурна схема САР базової (найпростішої) структури

На рисунку:

U_1 – подача газу до пальника;

U_2 – положення регулюючого органу подачі води;

T_1 – температура води, що потрапляє у котел;

T_2 – температура води, що надходить до користувача;

f – вектор неконтрольованих збурень;

$W_{P1}(p)$ – передаточна функція регулятора температури води, що приходить у котел;

$W_{P2}(p)$ – передаточна функція регулятора температури води, що виходить з котла;

$T_1^{зд}$ – задане значення регульованої координати температури води, що проходить у котел;

ΔT_1 – помилка регулювання води, поступає у котел.

$T_2^{зд}$ – задане значення регульованої координати температури води, що виходить з котла;

ΔT_2 – помилка регулювання води, що виходить з котла.

Передаточна функція ПІ-регулятора

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

Передаточна функція ПД-регулятора

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

Оптимальний параметричний синтез САР проводився за інтегральним критерієм.

$$J = \int_0^{t_M} \left[(\Delta T_1(t))^2 + \frac{(\Delta T_2(t))^2}{2} \right] dt$$

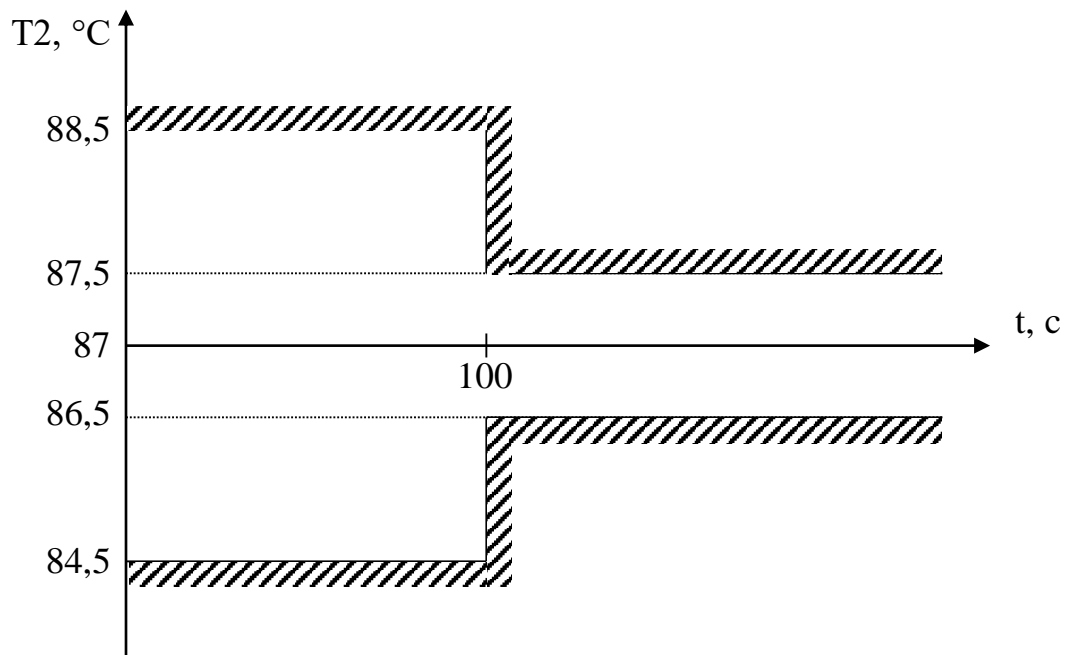


Рис 3.2 Регламентована зона для температури води котлового контуру

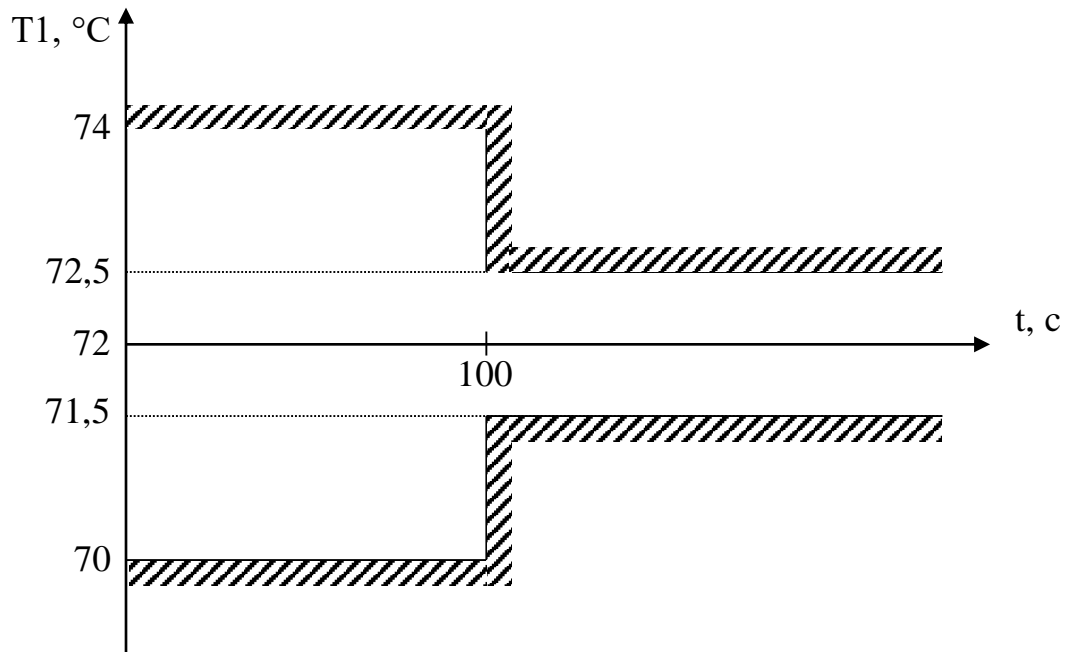


Рис 3.3 Регламентована зона для температури води зовнішнього контуру

3.2. Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

Розрахуємо початкові наближення налаштувань регуляторів.

Розрахунок налаштувань ПІ-регуляторів

Регулятор $W_{P1}(p)$

$$K_{P1} = \frac{1,1 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{1,1 \cdot 21,3}{0,3 \cdot 19,5} = 4\% \text{х.р.о. } / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I1} = 2,0 \cdot \tau_0 = 2,0 \cdot 19,5 = 39 \text{ с}$$

Регулятор $W_{P2}(p)$

$$K_{P2} = \frac{1,1 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{1,1 \cdot 35}{0,3 \cdot 37} = 3,5\% \text{х.р.о. } / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I2} = 2,0 \cdot \tau_0 = 2,0 \cdot 37 = 74 \text{ с}$$

Розрахунок налаштувань ПІД-регуляторів

Регулятор $W_{P1}(p)$

$$K_{P1} = \frac{1,2 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,2 \cdot 21,3}{0,3 \cdot 19,5} = 4,4\% \text{х.р.о. } / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I31} = 1,4 \cdot \tau_O = 1,4 \cdot 19,5 = 27,3 \text{ с}$$

$$T_{УП1} = 1,0 \cdot \tau_O = 1,0 \cdot 19,5 = 19,5 \text{ с}$$

$$W_{P1}(p) = 4,4p \cdot \left(1 + \frac{1}{27,3p} + 19,5p \right)$$

Регулятор $W_{P2}(p)$

$$K_{P2} = \frac{1,2 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,1 \cdot 35}{0,3 \cdot 37} = 3,8\% \text{х.р.о. } / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I32} = 1,4 \cdot \tau_O = 1,4 \cdot 37 = 51,8 \text{ с}$$

$$T_{УП2} = 1,0 \cdot \tau_O = 1,0 \cdot 37 = 37 \text{ с}$$

$$W_{P2}(p) = 3,8p \cdot \left(1 + \frac{1}{51,8p} + 37p \right)$$

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

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. 3.4

Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рис. 3.5.

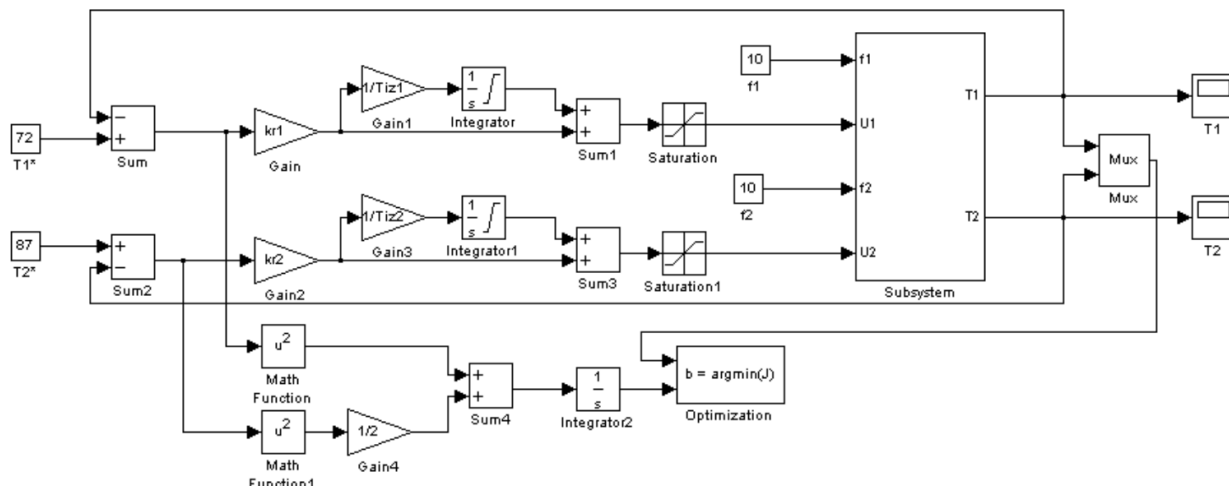
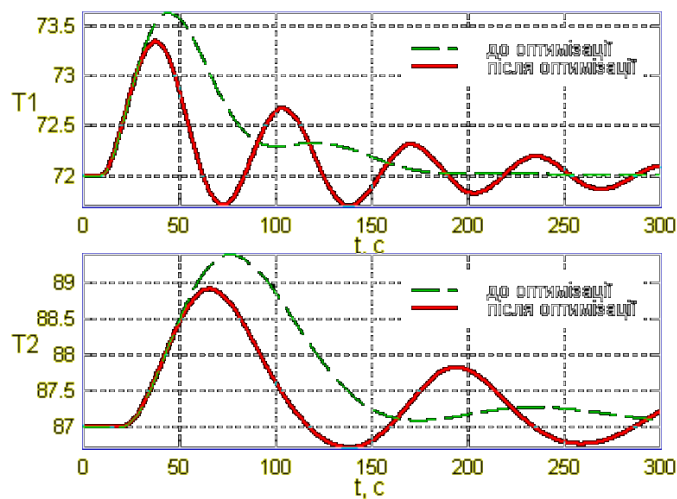


Рис. 3.4 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІ-

регулятора



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
kr1	8.8785	-15	4	10	до - 251.9898
Tiz1	45.1435	1	39	200	після - 136.7953
kr2	8.9158	0	3.5	20	оптимізації.
Tiz2	95.1111	1	74	500	Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1000
					фактична - 287

Рис. 3.5 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведено в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результатів порівняння САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІ-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T1^{\text{МАКС}}$, °С	$T_{\text{пп}1}$, с	$\Delta T2^{\text{МАКС}}$, °С	$T_{\text{пп}2}$, с	
до оптимізації	1,63	80,6	3,38	137,3	251,9698
після оптимізації	1,34	112,7	1,9	214,4	136,7953

Для оптимального параметричного синтезу САР температури підігріву води з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.6. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рисунку 3.7.

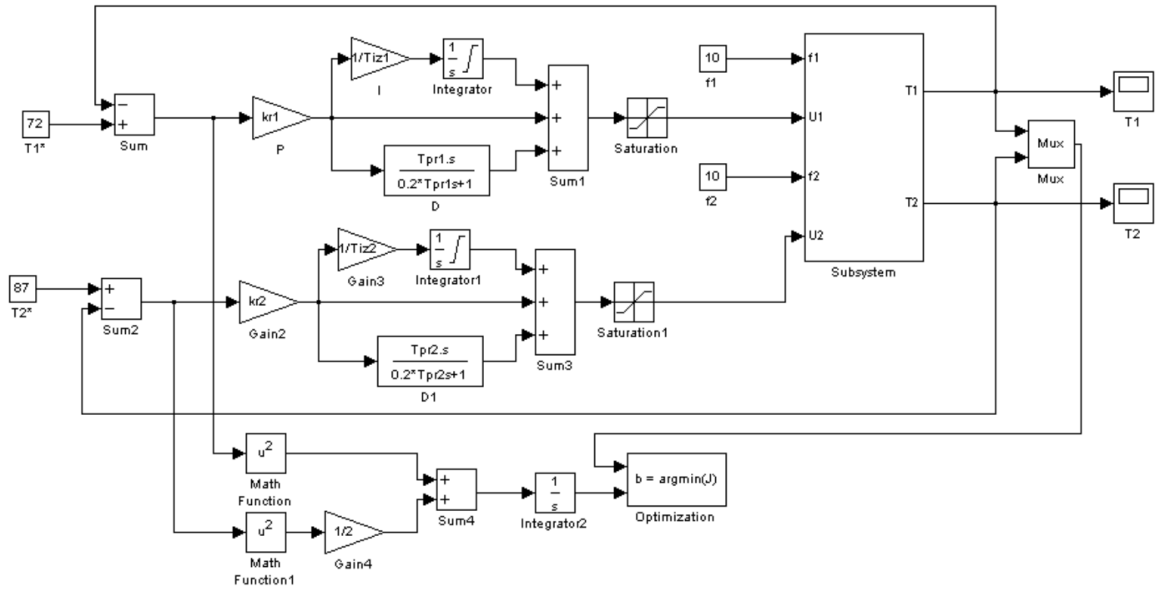
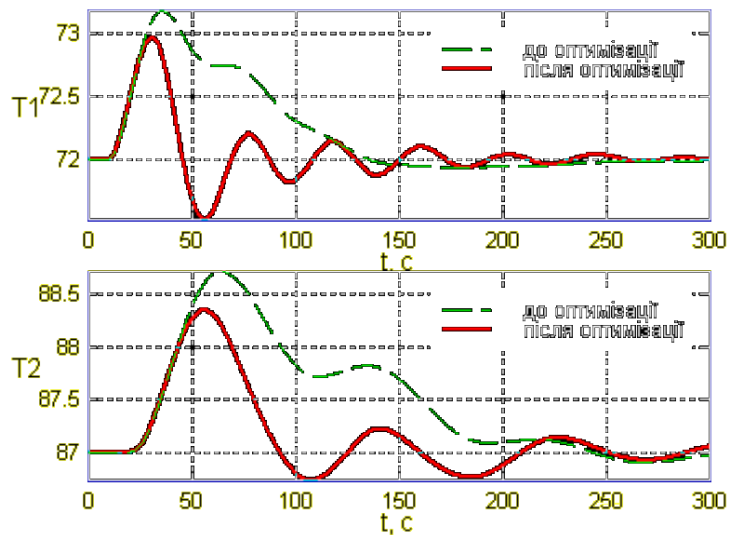


Рис. 3.6 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регулятора



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
kr1	10.5558	-15	4.4	20	до - 130.2063
Tiz1	13.8433	1	27.3	200	після - 46.0185
Trp1	9.9152	0	19.5	50	оптимізації.
kr2	7.5583	0	3.8	20	Кількість кроків
Tiz2	34.5202	1	51.8	500	процедури оптимізації:
Trp2	18.3365	0	37	200	максимальна - 1000
					фактична - 478

Рис. 3.7 – Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора

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

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

САР з ПІД-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T1^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп}1}, \text{c}$	$\Delta T2^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп}2}, \text{c}$	
до оптимізації	1,17	87	1,72	160,4	1030,2063
після оптимізації	0,96	39,85	1,42	81,3	46,0185

Проводимо порівняльний аналіз САР з ПІ- і ПІД-регуляторами

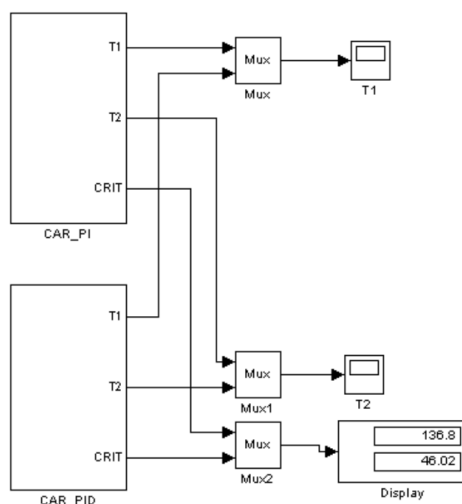


Рис. 3.8 - Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

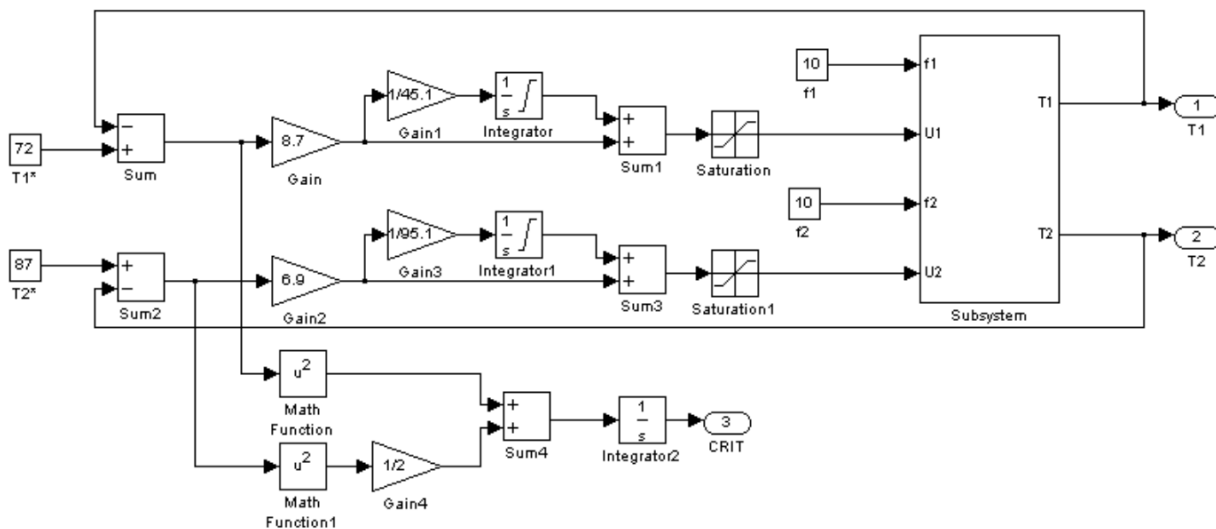


Рис. 3.9 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

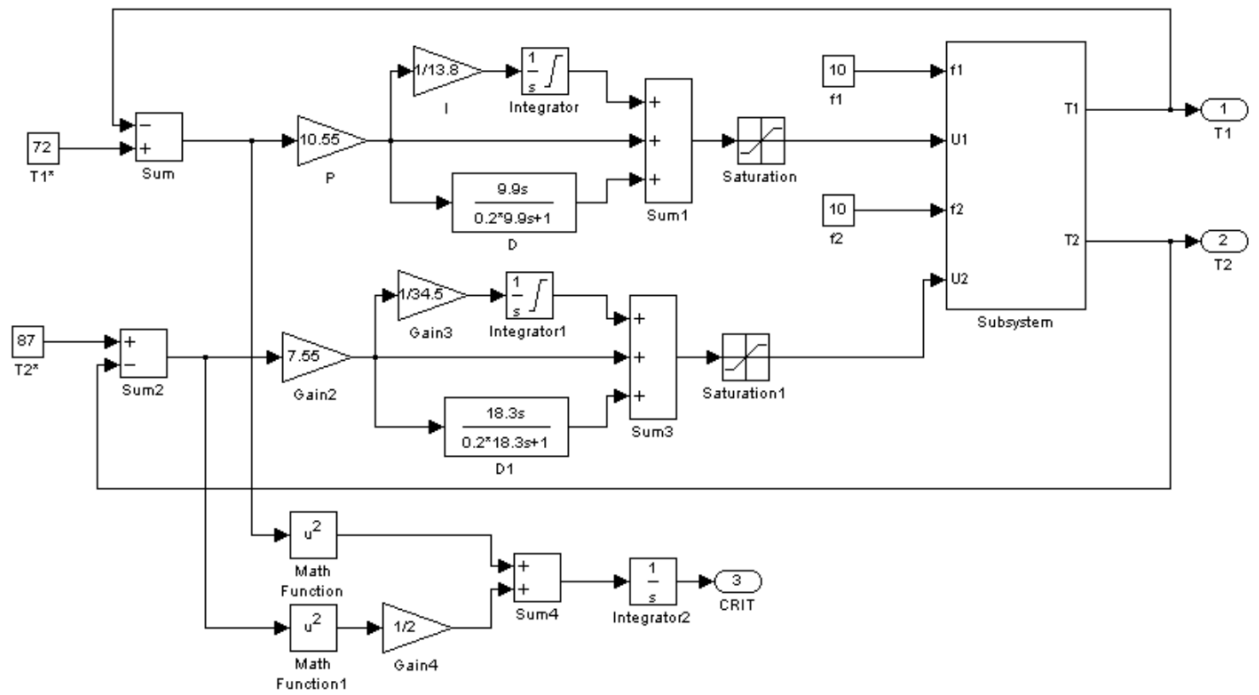


Рис. 3.10 – Структурна схема моделювання САР з ПД-регулятором

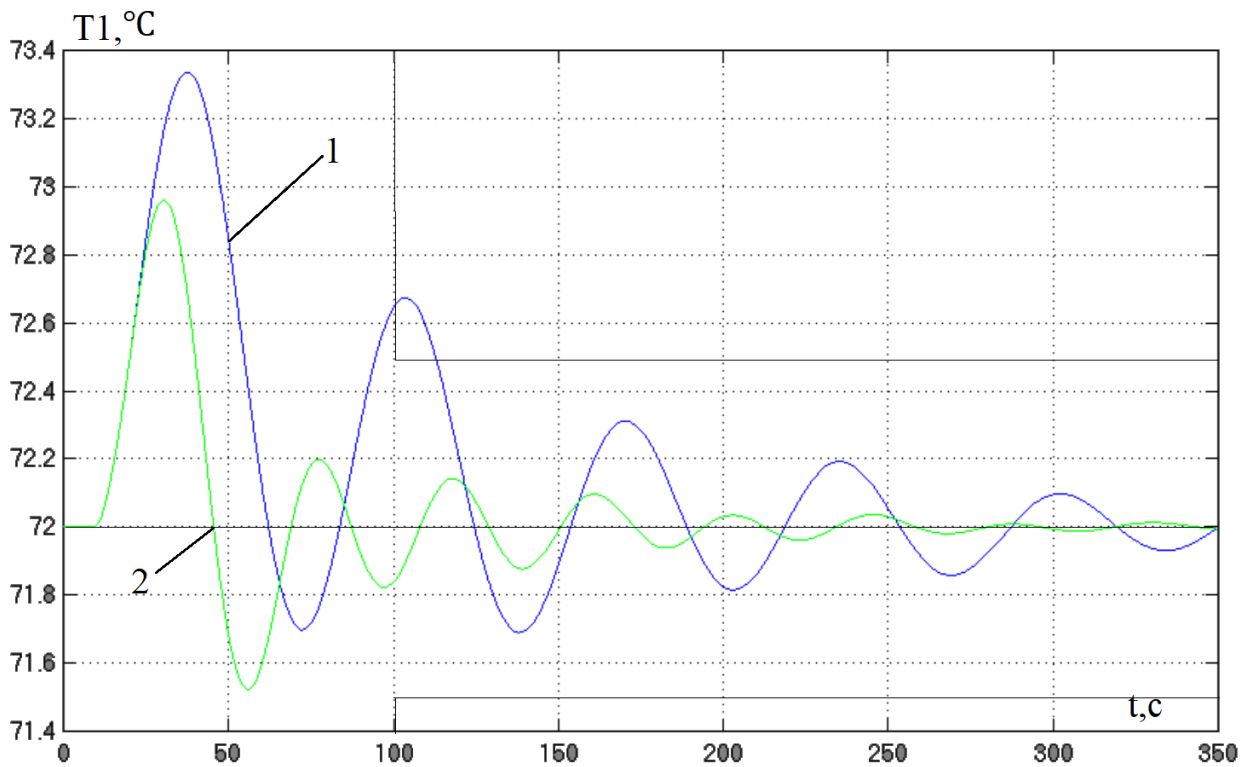


Рис. 3.11 Результати порівняння САР з ПІ- та ПД-регуляторами: 1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПД-регулятором

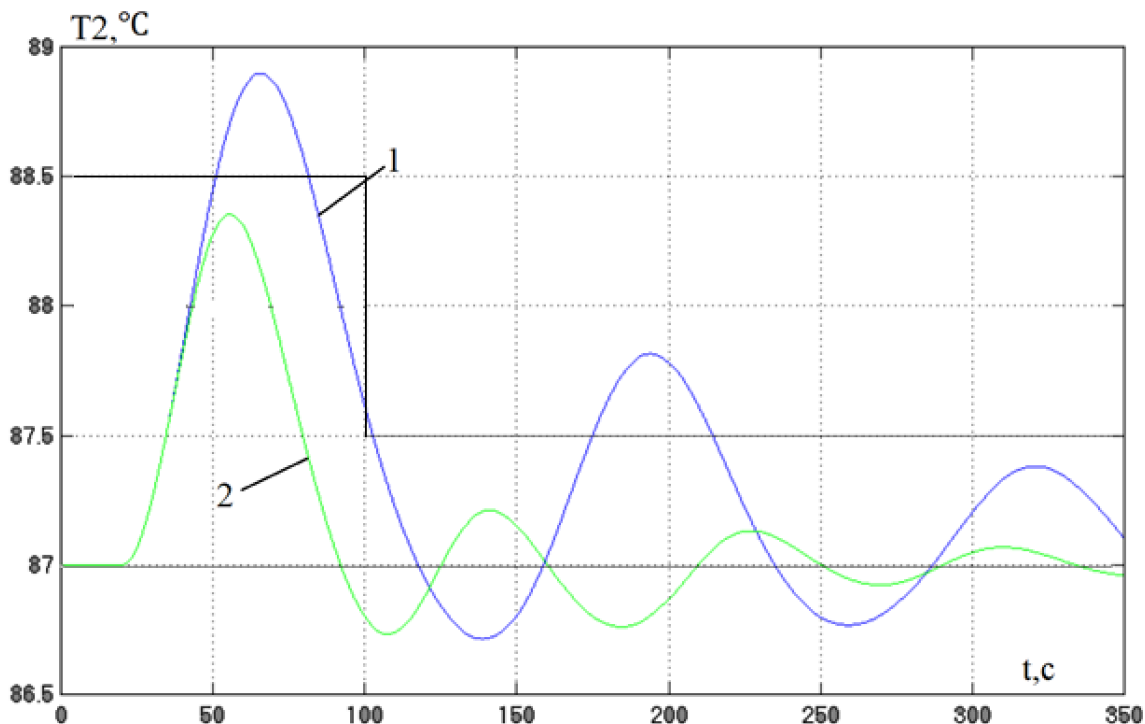


Рис. 3.12 Результати порівняння САР з ПІ- та ПІД-регуляторами: 1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором

Таблиця 3.3 – Результати порівняння варіантів САР

САР	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_1^{\text{МАКС}}$, °С	$T_{\text{пп1}}$, с	$\Delta T_2^{\text{МАКС}}$, °С	$T_{\text{пп2}}$, с	
ПІ	1,34	112,7	1,9	214,4	136,8
ПІД	0,96	39,85	1,42	81,3	46,02

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

Робимо висновок за результатами роботи в даному підрозділі.

1.САР з ПІ-регулятором не відповідає гранично припустимим вимогам.

По T_1 - за часом перехідного процесу, по T_2 - за максимальним динамічним відхиленням та за часом перехідного процесу

САР з ПІД-регулятором по T_1 відповідає гранично припустимим вимогам. По

T2 не відповідає за максимальним динамічним відхиленням.

2. Для ПІ-регуляторів коефіцієнт передачі K_{P1} збільшився на 53%, час ізодрому T_{I31} збільшився на 13%, коефіцієнт передачі K_{P2} збільшився на 49%, час ізодрому T_{I32} збільшився на 22%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T1^{МАКС}$ зменшилося на 18%, час перехідного процесу за T1 збільшився на 40%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T2^{МАКС}$ збільшилось на 77%, час перехідного процесу за T2 збільшився на 36%, інтегральний показник якості зменшився на 45%.

3.

4. Для ПІД-регуляторів коефіцієнт передачі K_{P1} збільшився на 140 %, час ізодрому T_{I31} зменшився на 49%, час упередження $T_{уп1}$ зменшився на 49%, коефіцієнт передачі K_{P2} збільшився на 97%, час ізодрому T_{I32} зменшився на 33%, час упередження $T_{уп2}$ зменшився на 51%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T1^{МАКС}$ зменшилося на 18%, час перехідного процесу за T1 зменшилось на 54%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T2^{МАКС}$ зменшилось на 17%, час перехідного процесу за T2 зменшилось на 49%, інтегральний показник якості зменшився на 95%.

5. Оскільки САР з налаштуваннями регуляторів за інженерними методиками дають перехідні процеси, що сходяться, то їх можна використовувати на практиці за умови не занадто жорстких гранично припустимих вимог. Але такі САР потребують оптимального параметричного синтезу.

6. В результаті введення до регулятора Д-складової САР за T1 почала відповідати гранично припустимим вимогам. Максимальне динамічне відхилення $\Delta T1^{МАКС}$ зменшилося на 36%; час перехідного процесу за T1 зменшився на 183%; Максимальне динамічне відхилення $\Delta T2^{МАКС}$ зменшилося на 34%; час перехідного процесу за T2 зменшився на 163%, інтегральний показник якості зменшився на 197%.

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%.

В процесі роботи котла може змінюватися час запізнення в каналах ОК. Слід відзначити, що внаслідок нелінійності, параметри каналів можуть варіювати в межах до $\pm 20\%$. При цьому дослідження САР на грубість слід проводити в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень $10\%x.p.o.$ і детермінованого ступінчастого контрольованого збурення в 100кПа . Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПІ- та ПІД-регуляторами на грубість наведені на рис. 3.9, 3.10.

Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість наведені на рис. 3.13, а САР з ПІД-регулятором – на рис. 3.14. Як видно з результатів, САР і з ПІ-регулятором, і з ПІД-регулятором є грубою, оскільки в умовах варіації параметрів ОК дає перехідні процеси, що сходяться. Але також в умовах дії збурень детермінованого характеру перехідні процеси в САР виходять за рамки регламентних зон.

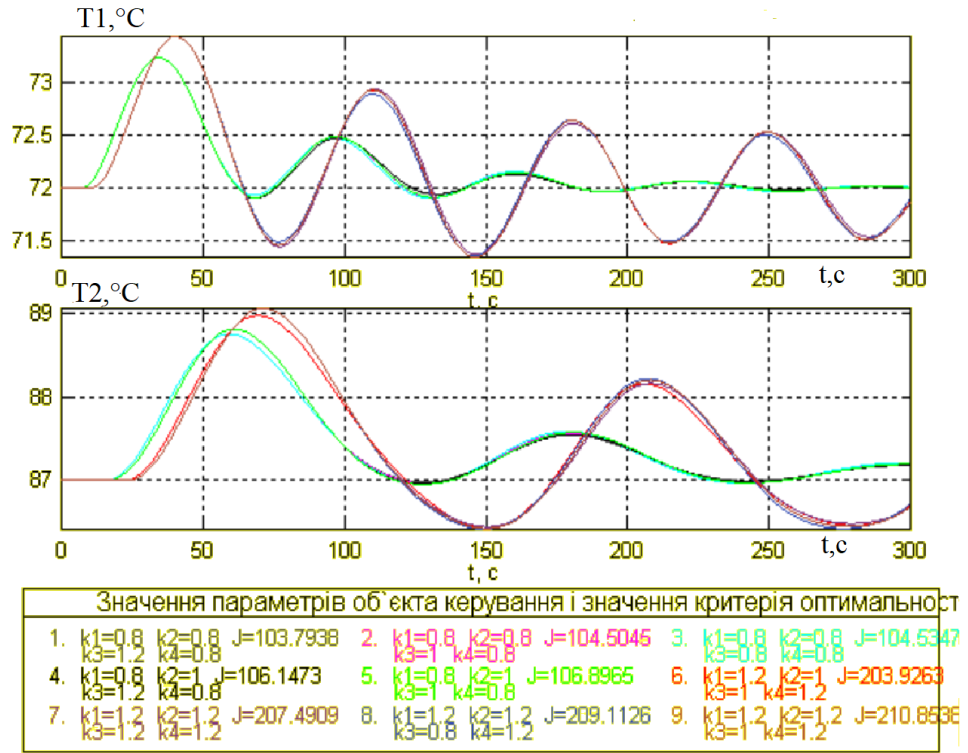


Рис. 3.13 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регулятором в умовах дії детермінованих контрольованих та неконтрольованих збурень

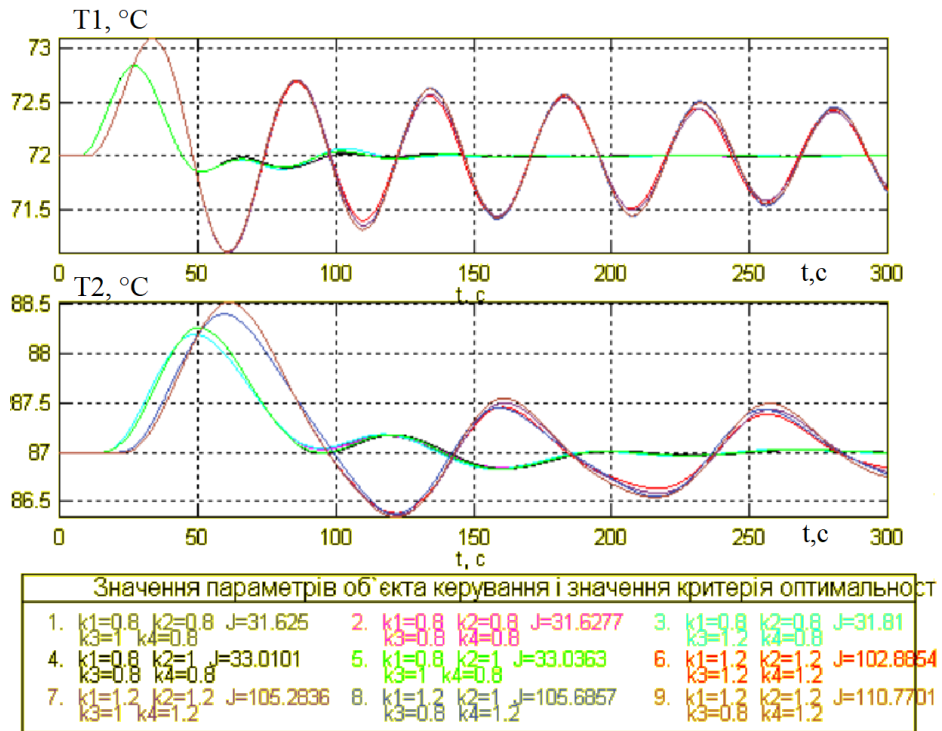


Рис. 3.14 - Аналіз на грубість САР з ПІД-регулятором в умовах дії детермінованих контрольованих та неконтрольованих збурень

Аналіз сталих процесів у САР при стохастичних вхідних діях

Для оцінки САР на грубість у сталому режимі будемо використовувати схеми моделювання

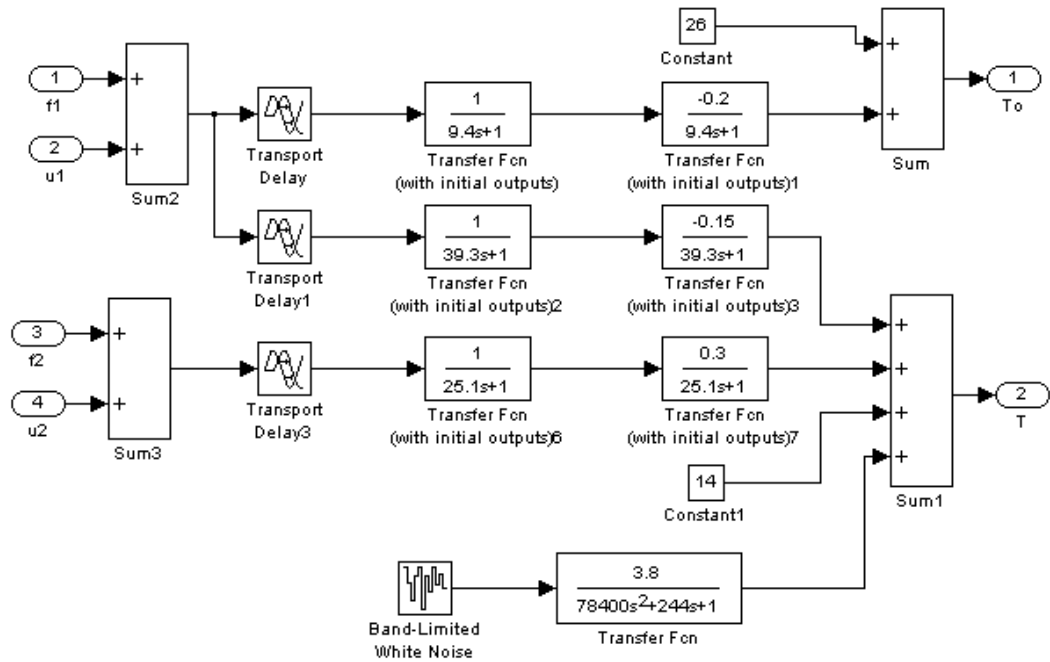
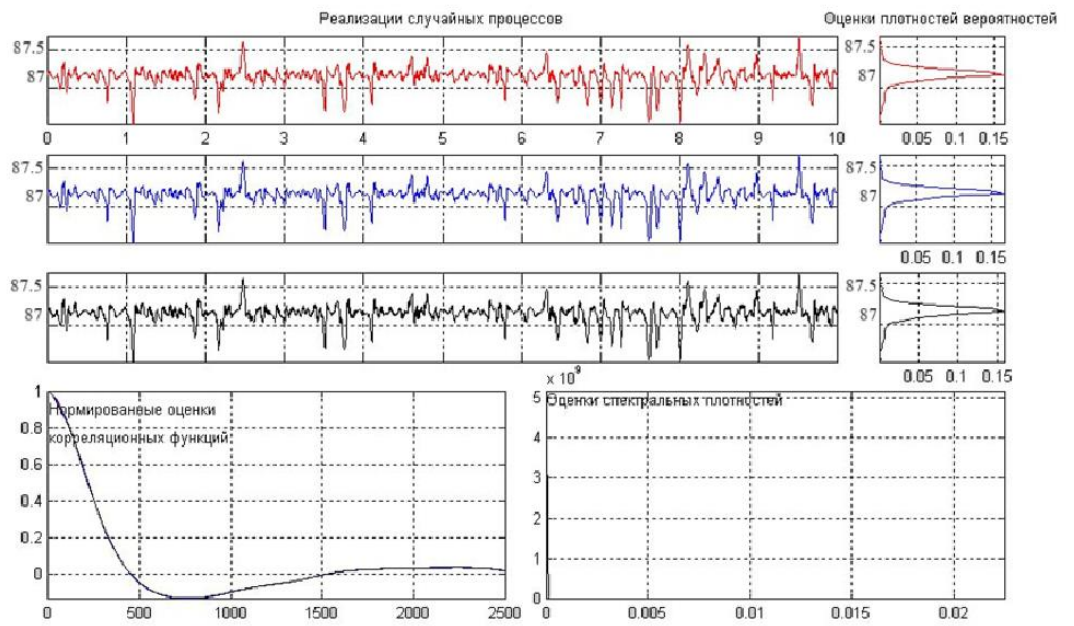


Рис. 3.15 - Структурна схема моделювання ОК для оцінки грубості САР у сталих режимах



Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса		
	1	2	3
Оценка среднего значения (математического ожидания)	86.1	86.1	86.1
Оценка среднеквадратического отклонения	4.8	4.8	4.9
Оценка среднеквадратического периода / частоты	689.7 / 0.0091	833.3 / 0.0075	558.7 / 0.011

Рис. 3.16 – Результаты моделювання САР з ПІ-регулятором

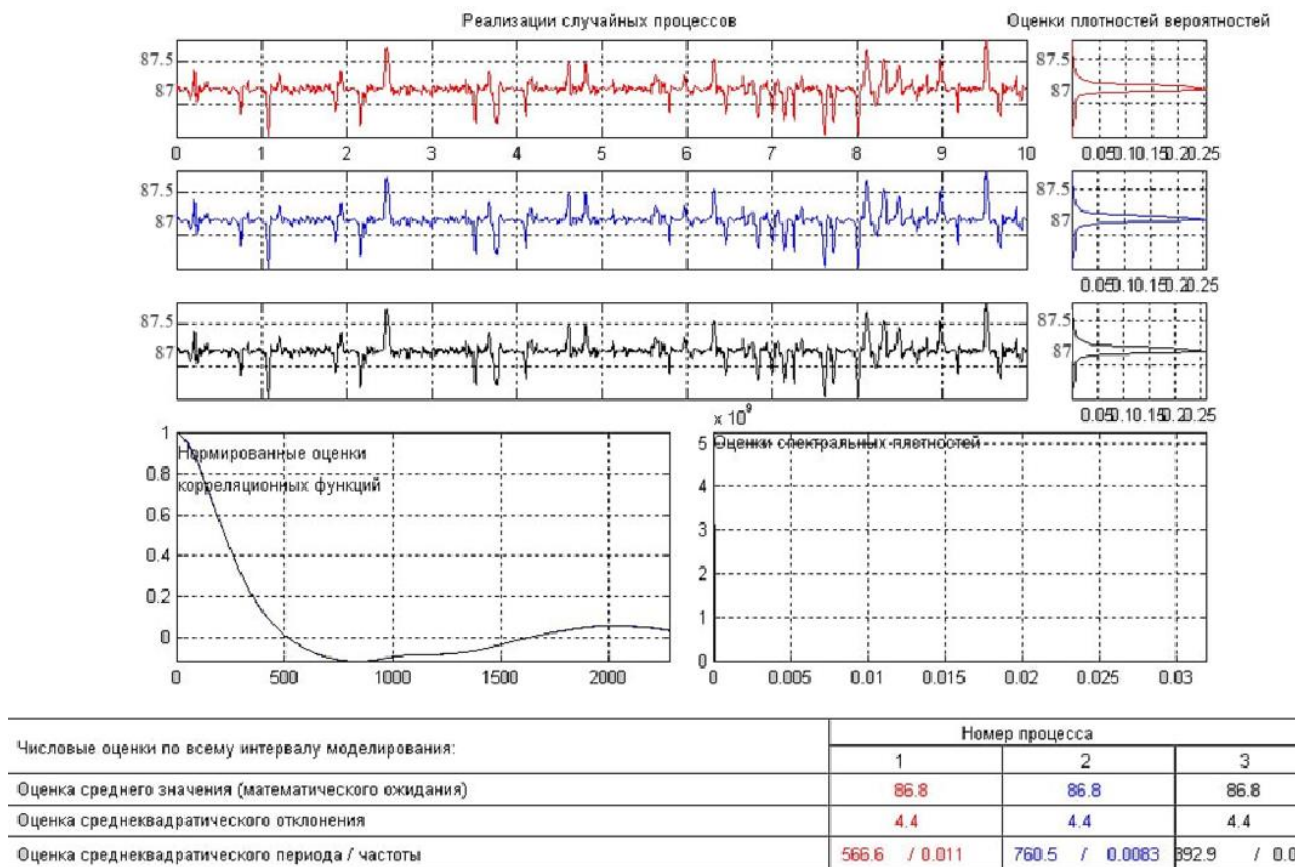


Рис. 3.17 – Результати моделювання САР з ПД-регулятором

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 3.6, а САР з ПД-регулятором - в таблицю 3.7.

Таблиця 3.6 – Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість в сталих процесах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	86,1	86,1	86,1
Середньоквадратичне відхилення	4,8	4,8	4,9

Середньоквадратичний період	689,7	833,3	558,7
-----------------------------	-------	-------	-------

Таблиця 3.7 – Результати оцінки САР з ПІД-регулятором на грубість в сталих процесах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	86,8	86,8	86,8
Середньоквадратичне відхилення	4,4	4,4	4,4
Середньоквадратичний період	566,6	760,5	392,9

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

Аналізуємо особливості об'єкта регулювання, які знижують динамічну точність САР

Причиною недостатньої точності САР можуть бути зовнішні умови: дія інтенсивних контрольованих та неконтрольованих обурень, інтенсивна зміна завдання САР, а також внутрішні особливості ОУ та САР (значне співвідношення τ_0/τ_0 , взаємний вплив каналів у багатовимірній САР).

Основним шляхом підвищення динамічної точності розглянутої САР є побудова автономної САР. Відповідно до цього структурна схема САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.18

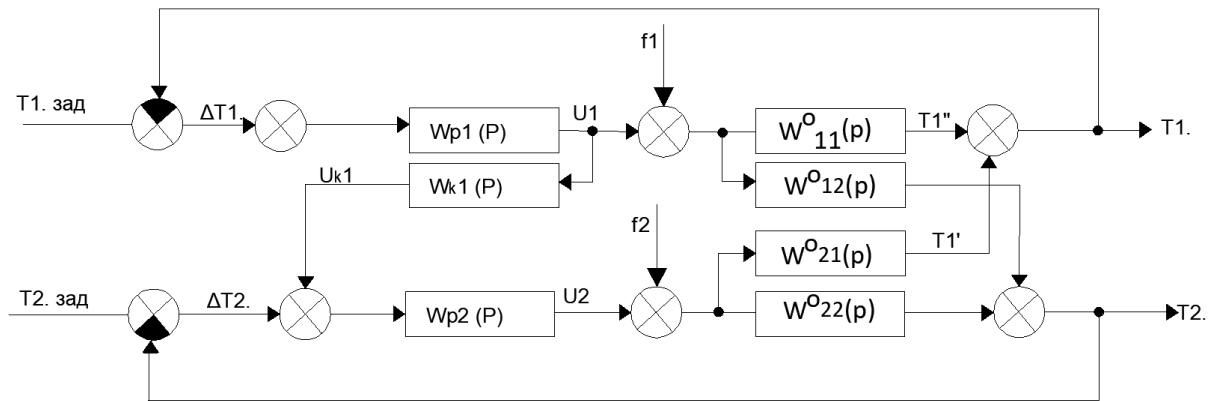


Рис. 3.18 - Структурна схема САР, інваріантної до дії контрольованого обурення

Математичні моделі каналів передаточні функції по каналам?

Оптимізовані параметри ПД регулятора

Розробляємо, реалізуємо і налагоджуємо імітаційні моделі коригуючих зв'язків і САР в цілому

Передаточна функція ПД-регулятора

$$W_{P1}(p) = 10,6p \cdot \left(1 + \frac{1}{13,8p} + 9,9p\right)$$

$$W_{P2}(p) = 7,6p \cdot \left(1 + \frac{1}{34,5p} + 18,3p\right)$$

Проводимо розрахунок передаточної функції коригуючого зв'язку.

$$T2' + T2'' = T2 = 0$$

$$T2' = u_1 \cdot W_{12}^0(p); \quad T2'' = u_1 \cdot W_{K1}(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^0(p)$$

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

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

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

$$\begin{aligned}
 W_{12}^0(p) &= \frac{0,25 \cdot e^{-47,3p}}{49,3p + 1}; \quad W_{22}^0(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-37p}}{35p + 1} \\
 W_{P2}(p) &= 7,6p \cdot \left(1 + \frac{1}{34,5p} + 18,3p\right) = 7,6p \cdot \frac{34,5 \cdot 18,3 \cdot p^2 + 34,5p + 1}{34,5p} \\
 &= 7,6p \cdot \frac{631,35p^2 + 34,5p + 1}{34,5p} \\
 W_{K1}(p) &= -\frac{W_{12}^0(p)}{W_{P2}(p) \cdot W_{22}^0(p)} = -\frac{\frac{0,25 \cdot e^{-47,3p}}{49,3p + 1}}{7,6 \cdot \frac{631,35p^2 + 34,5p + 1}{34,5p} \cdot \frac{0,3 \cdot e^{-37p}}{35p + 1}} = \\
 &= -\frac{0,25}{7,6 \cdot 0,3} \cdot \frac{e^{-47,3p}}{e^{-37p}} \cdot \frac{34,5p \cdot (35p + 1)}{(49,3p + 1) \cdot (631,35p^2 + 34,5p + 1)} = \\
 &= -0,11 \cdot e^{-47,3p - (-37p)} \cdot \frac{34,5p \cdot (35p + 1)}{(49,3p + 1) \cdot (631,35p^2 + 34,5p + 1)} \\
 &= -0,11 \cdot e^{-10,3p} \cdot \frac{34,5p \cdot (35p + 1)}{(49,3p + 1) \cdot (631,35p^2 + 34,5p + 1)}
 \end{aligned}$$

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.

Тоді передатна функція фізично реалізованого коригувального зв'язку матиме вигляд:

$$\begin{aligned}
 W_{K1}(p) &= -0,11 \cdot e^{-10,3p} \cdot \frac{34,5p \cdot (35p + 1)}{(49,3p + 1) \cdot (631,35p^2 + 34,5p + 1)} \\
 &= -0,11 \cdot e^{-10,3p} \cdot \frac{34,5p}{49,3p + 1} \cdot \frac{35p + 1}{(631,35p^2 + 34,5p + 1)}
 \end{aligned}$$

Структурна схема моделювання передавальної функції коригуючого зв'язку

наведена на рис. 3.19, а її перехідна характеристика – на рис. 3.20.



Рис. 3.19 – Структурна схема моделювання передавальної функції коригувального зв'язку

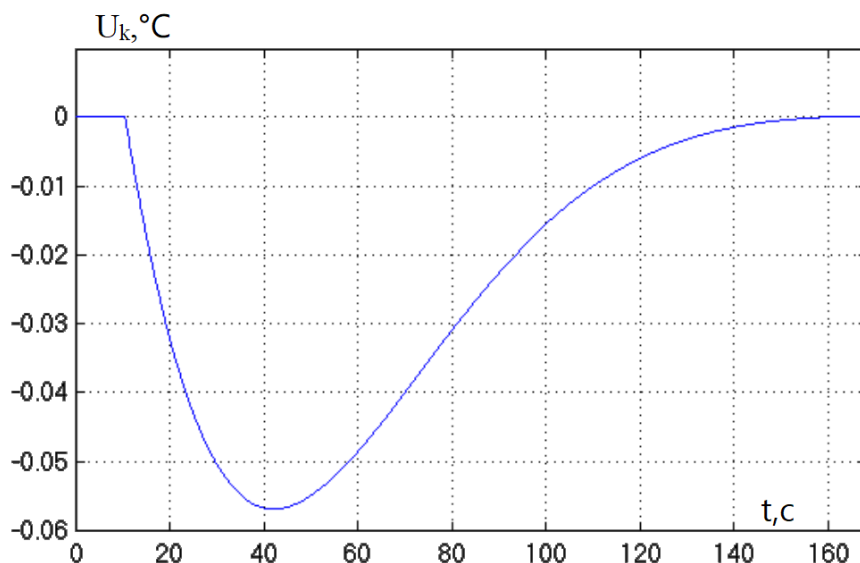


Рис. 3.20 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку

Отримана передатна функція коригувального зв'язку представлена занадто складною функцією передачки, тому її доцільно спростити при збереженні її диференціюючих властивостей. Спрощена передатна функція коригувального зв'язку матиме вигляд:

$$W_{K1}(p) = -0,11 \cdot e^{-10,3p} \cdot \frac{34,5p}{49,3p + 1} \cdot \frac{35p + 1}{(631,35p^2 + 34,5p + 1)}$$

$$W_{K2}(p) = Kk \cdot e^{-T_{k1}p} \cdot \frac{T_{k2}p}{(1p + 1)^2} = Kk \cdot e^{-T_{k1}p} \cdot \frac{T_{k2}p}{T_{k2}p + 1} \cdot \frac{1}{T_{k2}p + 1}$$

Як початкові наближення параметрів коригувального зв'язку приймемо такі значення параметрів: $Kk = -0,002$; $T_{k2} = 78$; $T_{k1} = 13,8$. Для уточнення початкових наближень параметрів коригувального зв'язку скористаємося схемою моделювання. Результати розрахунку початкових наближень параметрів

коригувального зв'язку наведено на рис. 3.20, а результати моделювання – на рис. 3.21.

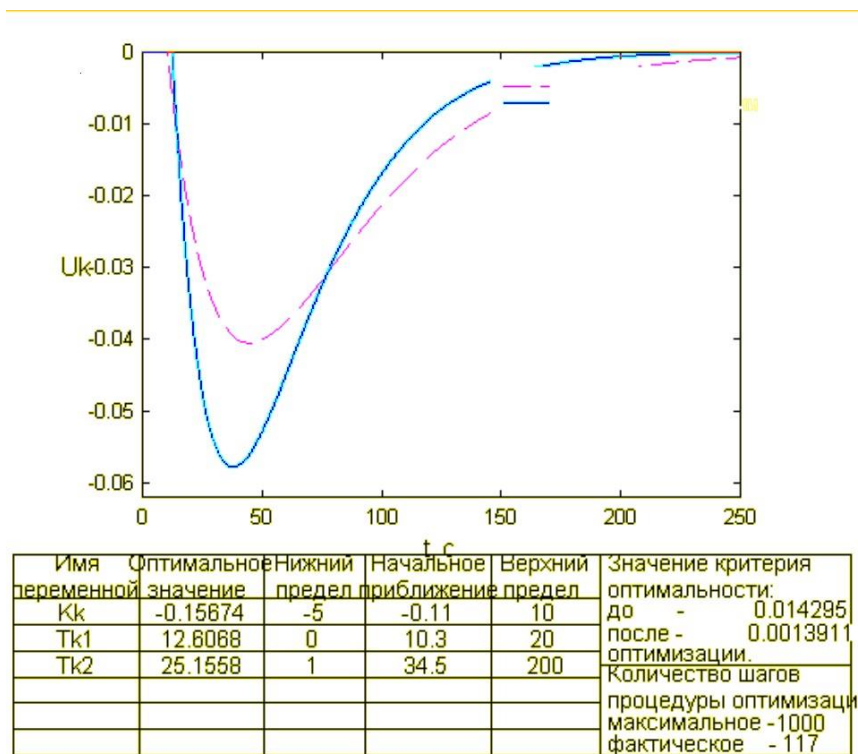


Рис. 3.21 – Результати розрахунку початкових наближень параметрів коригувального зв'язку

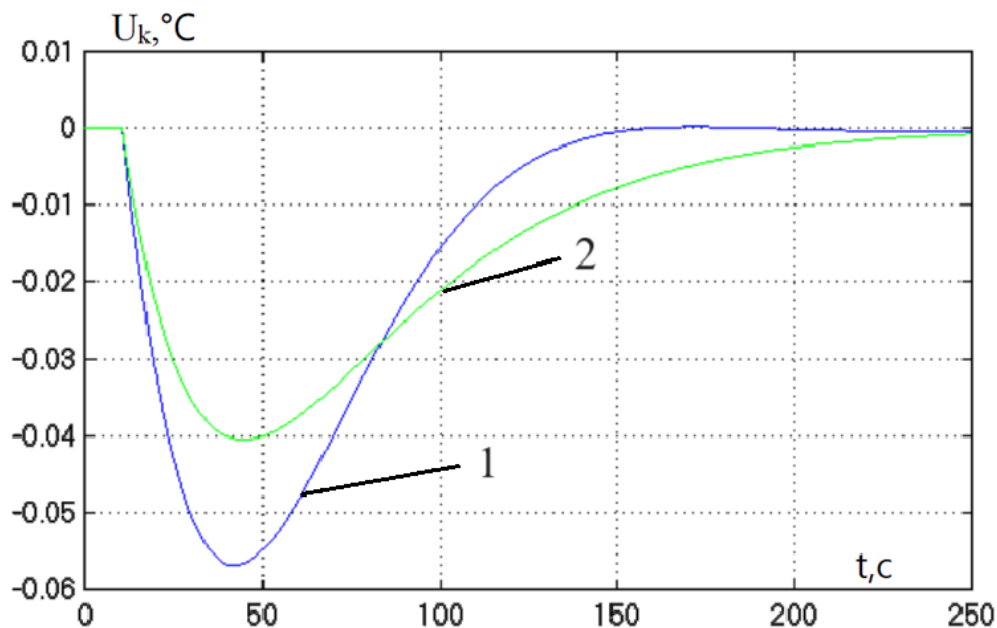


Рис. 3.22 – Перехідна характеристика розрахункового (2) та спрощеного коригувального зв'язку (1)

Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального

параметричного синтезу коригувального зв'язку наведено на рис. 3.23, а результати оптимізації – на рис. 3.24.

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

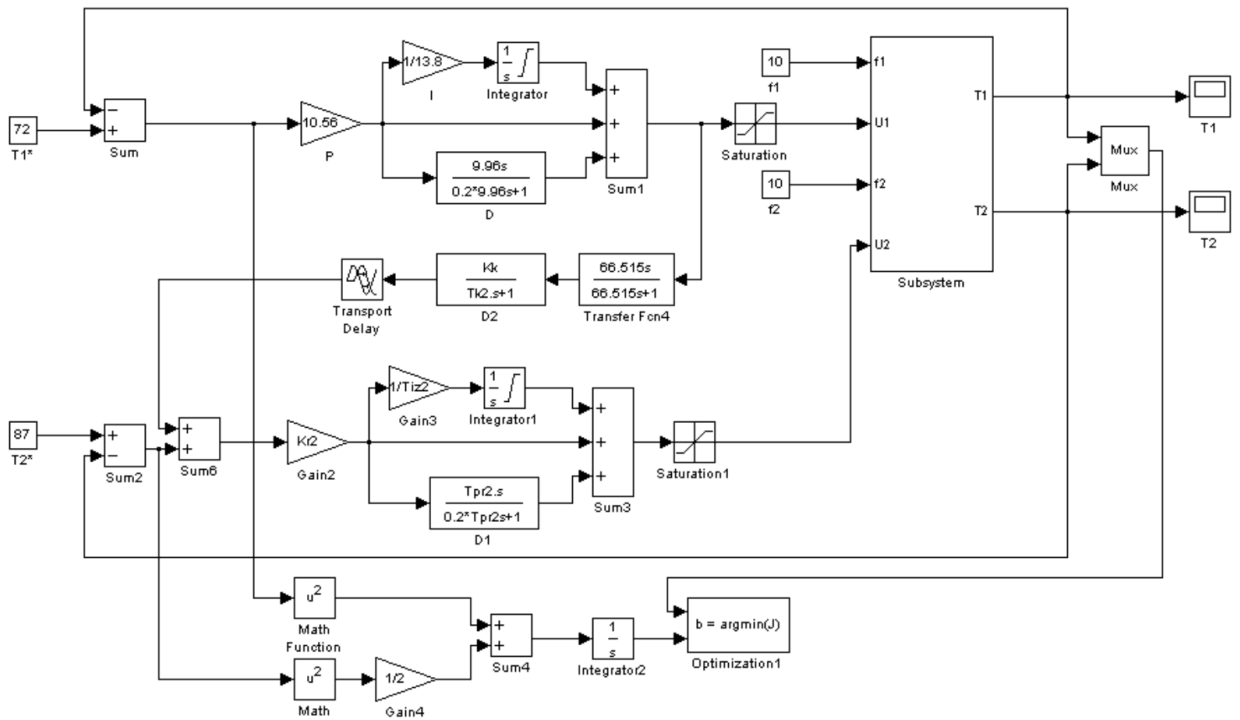


Рис. 3.23 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу коригувального зв'язку

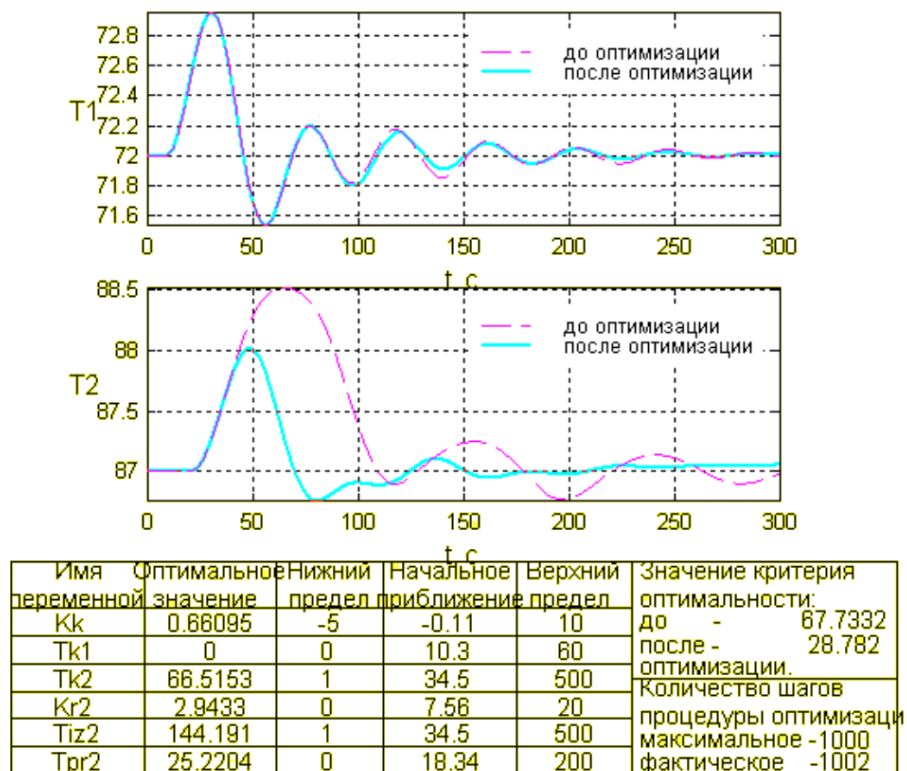


Рис. 3.24 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу коригувального зв'язку

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 $\pm 20\%$.

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість за умов варіації параметрів ОУ наведено на рис. 3.25. Як видно з результатів оцінки САР на грубість, в умовах варіації параметрів ОУ САР дає перехідні процеси, що сходяться, а значить, САР є грубою.

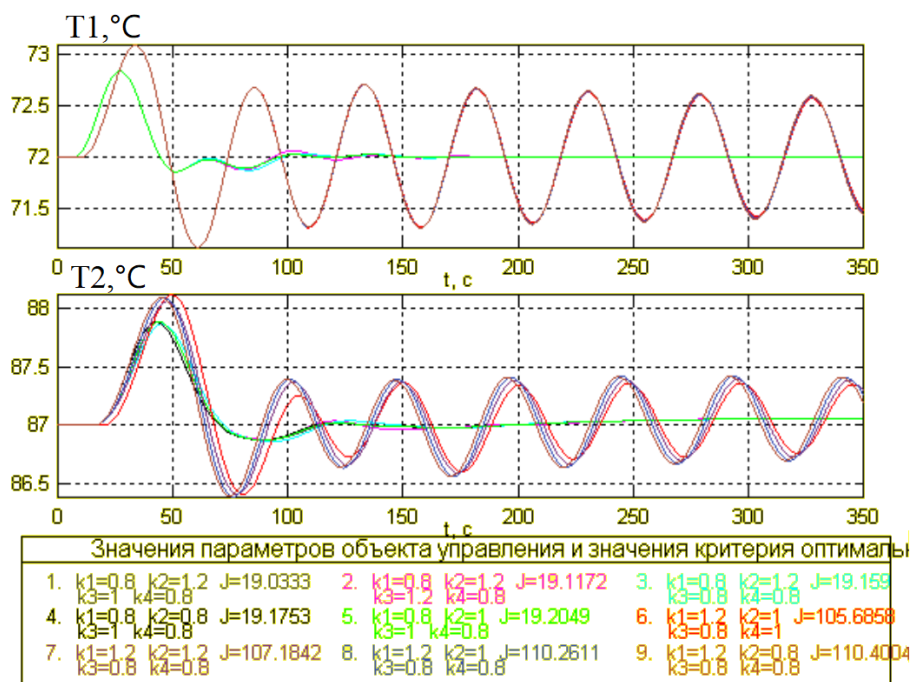


Рис. 3.25 – Аналіз САР підвищеної динамічної точності на грубість за умов варіації параметрів ОК

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, найбільш "сприятливим" для управління є номінальний час запізнення каналом управління, і запізнення, менше на 20% щодо контрольованого обурення по каналу контрольованого обурення. Найбільш "несприятливим" для управління є поєднання параметрів ОУ, що відповідає часом запізнення по обох каналах, на 20% більшим від їх номінальних значень.

Як видно з результатів аналізу САР на грубість, САР підвищеної динамічної точності є грубою, тому що при будь-яких поєднаннях параметрів ОУ дає перехідні процеси, що сходяться, які, до того ж, не виходять за рамки зони незначних відхилень.

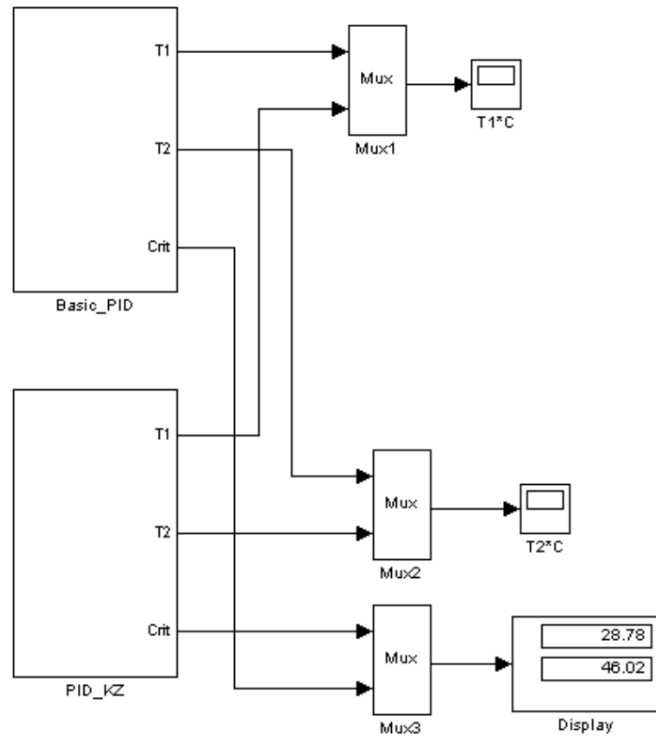


Рис. 3.26 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оцінки грубості в режимах, що встановилися.

Для порівняння якості роботи САР базової структури та підвищеної динамічної точності розроблено структурну схему моделювання.

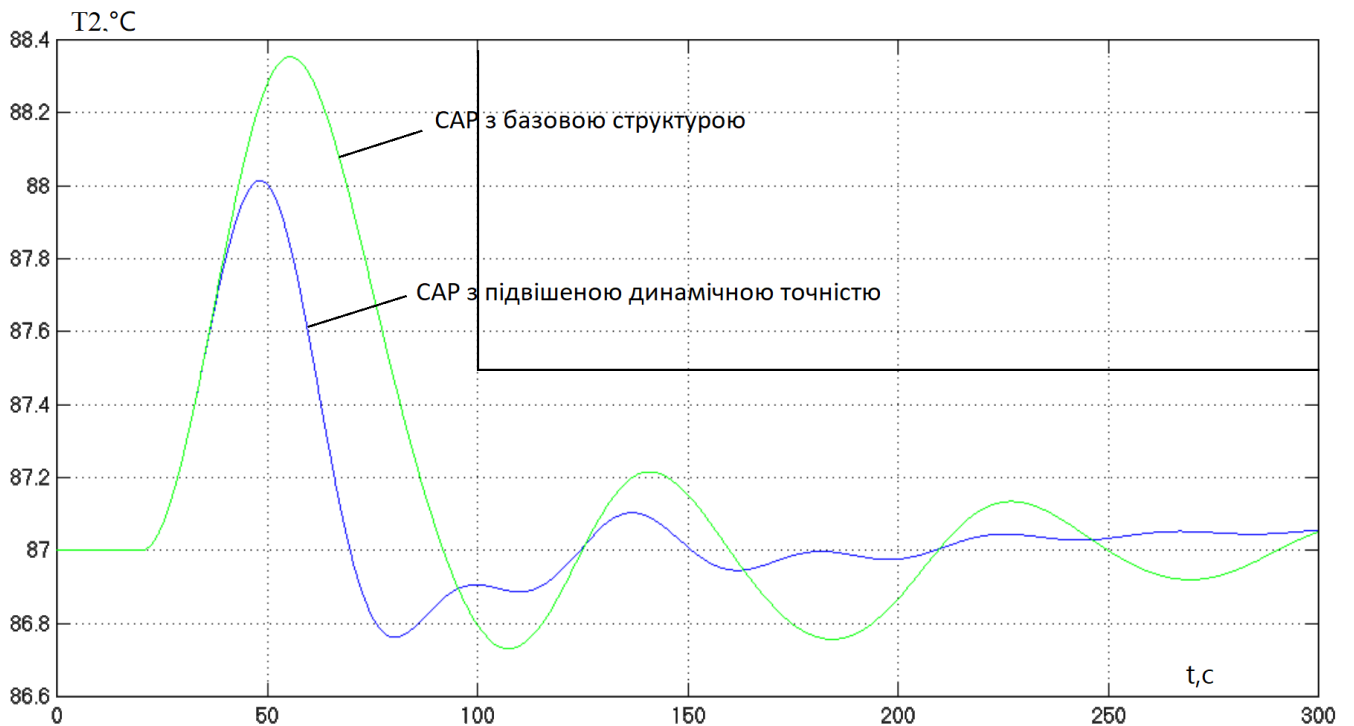


Рис. 3.27 – перехідні процеси в САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності

Таблиця 3.6 – Результати порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності у перехідних режимах

Варіант САР (параметри ОК)	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta T_2^{\text{МАКС}}$, °C	$T_{\text{пп2}}$, с	
Базова	1,35	81,3	46.02
Підвищеною динамічною точністю	1,01	68,4	28,78

Як показують результати досліджень варіантів САР і САР базової структури, і САР підвищеної динамічної точності є грубими.

3.4 Висновки у розділі

Синтез САР проведено в два етапи. На першому етапі розрахунок налаштувань регулятора проводився за інженерними методиками Копеловича, а на другому етапі було застосовано оптимальний параметричний синтез. В якості базового алгоритму регулювання будемо використовувати ПД-алгоритм. САР підвищеної динамічної точності є грубою. 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 ПД регулятором є кращою, ніж САР з ПІ регулятором. Тому в подальшому дослідженні в якості базового алгоритму регулювання будемо застосовувати ПД-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 якісно.

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

Опис пуску об'єкта

Для пуску необхідно переконатися в наявності газу в системі подачі газу та наявності води у трубопроводі. Після цього котел заповнюється водою та вентилюється. Подається газ до пальника та відбувається розпалення. Потім температура виходить на задане значення в котловому контурі, а після в контурі подачі води до користувача.

Опис зупинки об'єкта

Для зупинки необхідно вимкнути пальник, підтримувати циркуляцію води в котлі, доки температура не зменшиться до мінімальної.

Опис аварійної зупинки об'єкта

При аварійної зупинки вимикається подача газу до пальника, циркулюється повітрям топка та вимикається подача води.

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 первонаочально визначимо регламент процесу пуску та зупинки. Відповідні регламенти представленні на рисунку № 4.1 , та відображають : Алгоритмізацію послідовності роботи технологічного обладнання.



Рис 4.1 : регламент процесу пуску

Запуск пального може виявитись вдалим або ні, у разі вдалого запуску об'єкт переходить до контуру регулювання температур, якщо ні – палиник запускає вентиляцію після чого вимикається

Необхідно контролювати досягнення температурою регламентної зони: $T_2 > T_{зд} - \Delta T^{МАКС}$ де $\Delta T^{МАКС}$ – припустиме короткочасне відхилення температури від заданного значення. При виконанні умови входження температури в регламентну зону регламентів вимкнути контур регулювання температури T_2 , аналогічно система спрацює відповідно температури T_1 . Для забезпечення випуску води заданої температури необхідно, щоб $T_1 = 72^\circ\text{C}$, а $T_2 = 87^\circ\text{C}$.



Рис 4.2 Регламент процесу зупинки

При зупинці об'єкта, спочатку зупиняється робота пальника, а після ще деякий час відбувається циркуляція води в системі.

2. Також регламент аварійної зупинки системи в разі аварії наведено на рис. 4.3

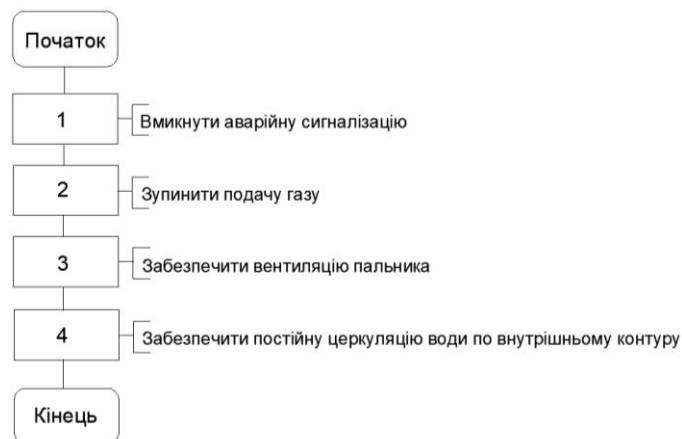


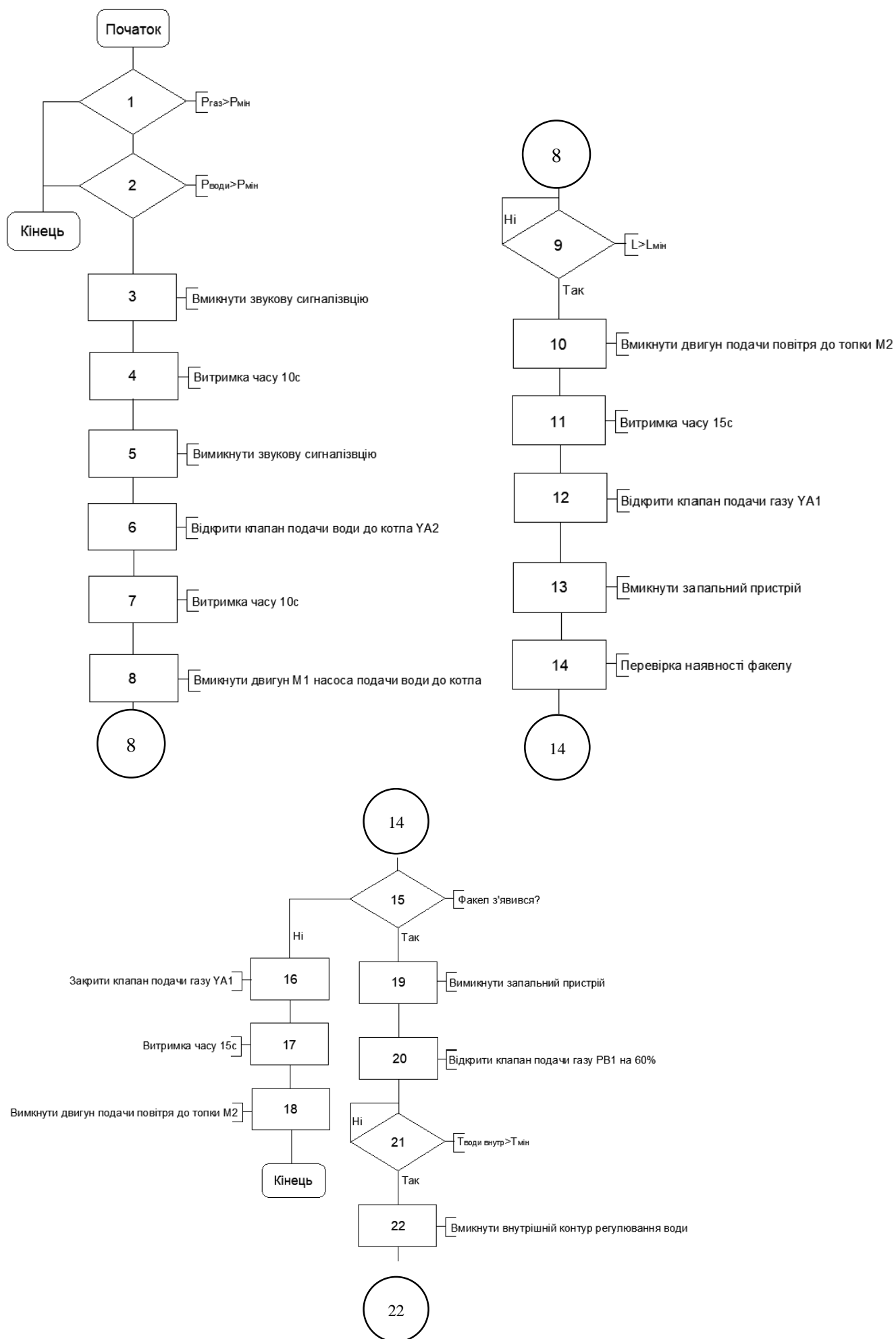
Рис 4.3 Регламент аварійної зупинки

При аварійній зупинці відбувається теж саме, що у попередньому опису, але спочатку перекривається подача газу до пальника, а потім вода циркулюється за малим контуром.

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 4.4



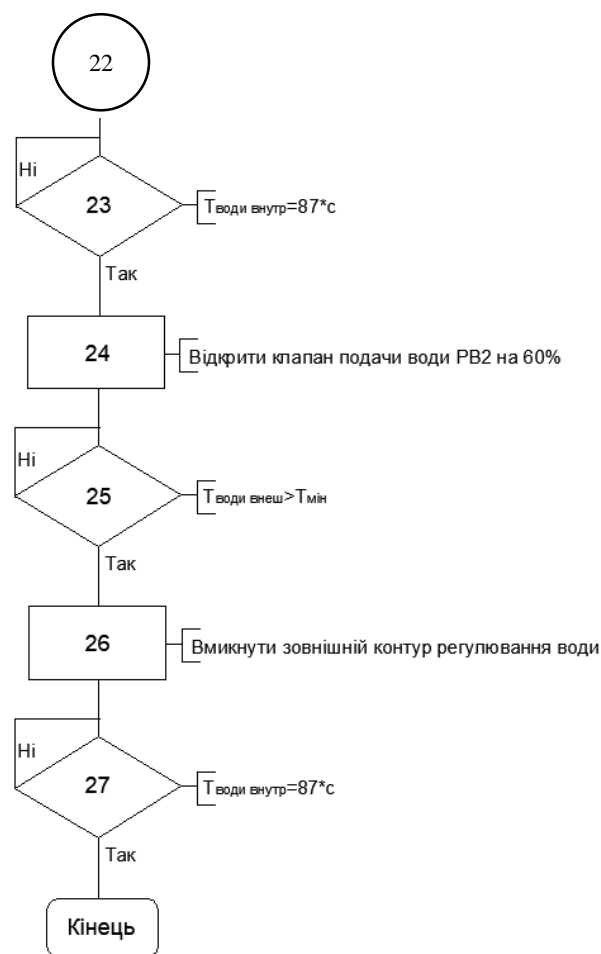


Рис 4.4 блок-схема алгоритму пуску

Для запуску об'єкта необхідно перевірити наявність газу у трубопроводі та наявність води у системі. Якщо необхідні умови виконані, запускається передпускова звукова сигналізація, яка триває 10 секунд, після чого запускається двигун М1, який подає воду до котла, коли котел заповниться водою, спрацює датчик рівня, потім вмикається двигун подачі повітря М2. Йде витримка часу щоб уникнути великих пускових струмів, потім подається газ до пальника, шляхом відкриття клапана УА1, після вмикається запальний пристрій, котрий підпалює суміш газу та повітря.

Після можливі два шляхи розвитку подій, або факел з'являється, або ні. При невдалому запуску закривається клапан УА1, ще деякий час триває подача повітря до топки, для вентиляції, після чого вимикається двигун М2 та двигун М1.

Якщо факел з'являється – вмикається запальний пристрій, відкривається на 60% клапан подачі газу РВ1, після досягнення мінімальної температури вмикається котловий контур регулювання води. Після досягнення 87°C відкривається на 60% клапан подачі води РВ2, по досягненню мінімальної температури води у зовнішньому контурі – вмикається зовнішній контур регулювання вод, після досягнення 72°C на вході до котла – алгоритм зупиняється

Складаємо блок-схему алгоритму аварійної зупинки.

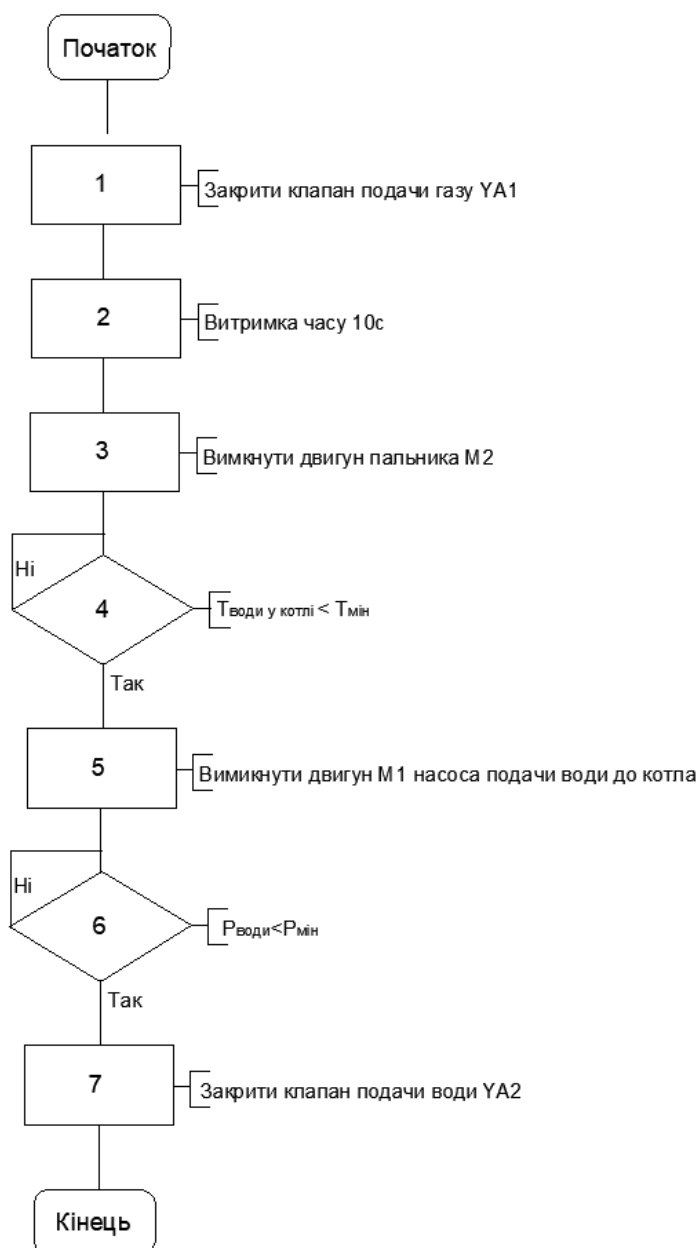


Рис 4.5 блок-схема алгоритму зупинки

Для зупинки об'єкта необхідно спочатку закрити клапан подачі газу, потім витримати 10 секунд, щоб догоріли залишки газу, та провентильовалась топка, далі вимкнути двигун пальника М2. Коли температура води у котлі досягає мінімального значення, вимикається двигун М1 насоса подачі води до котла. Після того як, тиск в трубопроводі подачі води досягає мінімального значення, закривається клапан подачі води УА2.

Складаємо блок-схему алгоритму аварійної зупинки. Побудова алгоритмів аварійного зупинення можлива за кількома параметрами, приклади схем наведені

на рисунках 6 і 7



Рис. 4.6 алгоритм аварійного зупинення 1

Відпрацювання не штатних ситуацій 1

При спрацюванні умов, а саме: якщо рівень в котлі став менше мінімального, та якщо тиск у трубопроводі подачі води досяг заданого мінімального значення, то РВ2 перекриває воду, щоб вода циркулювала за малим контуром, закривається УА1 газу, потім вентилюється топка 10 секунд та вимикається пальник.

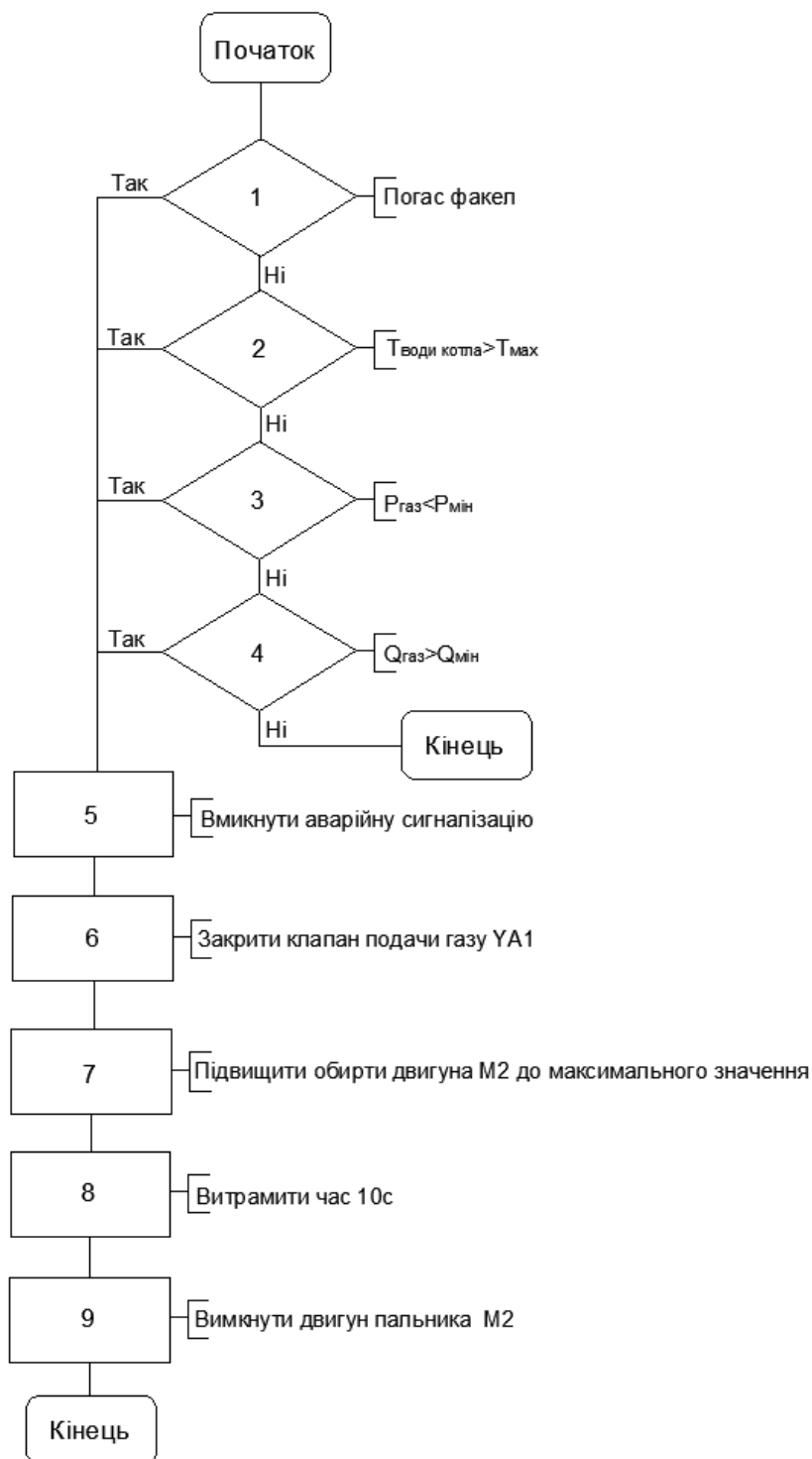


Рис. 4.7 алгоритм аварійного зупинення 2

Відпрацювання не штатних ситуацій 2

При появах сигналу від датчику наявності факелу про те, що погас факел або від датчика температури води у котлі про те, що температура в котлі досягла максимальної заданої межі, або коли тиск газу перевищує максемальне значення, або спрацював датчик загазованості тоді – звучить звукова сигналізація, перекривається подача газу, вентилюється топка 10 секунд та вимикається пальник.

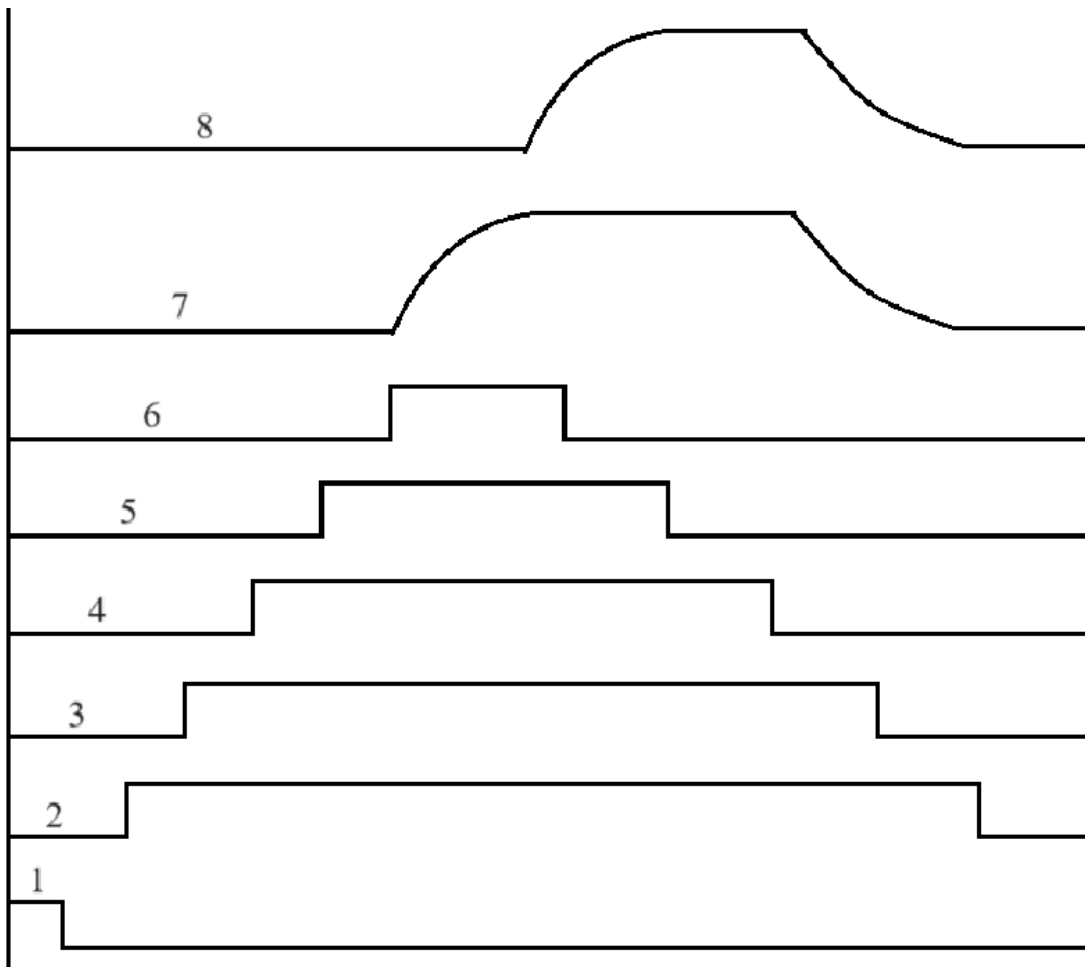


Рис. 4.8 – Циклограма процесів технологічного пуску та технологічна зупинка

- 1 – сигналізація
- 2 – відкриття клапану води УА2
- 3 – запуск насоса подачі води М1
- 4 – запуск двигуна пальника М2
- 5 – відкриття клапану газу УА1
- 6 – запуск запального пристрою
- 7 – запуск контуру регулювання температури води, що приходить до котла
- 8 – запуск контуру регулювання температури води, що йде до користувача

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

Наступним етапом розробляємо алгоритми логіко-програмного управління у вигляді функціональної логічної схеми

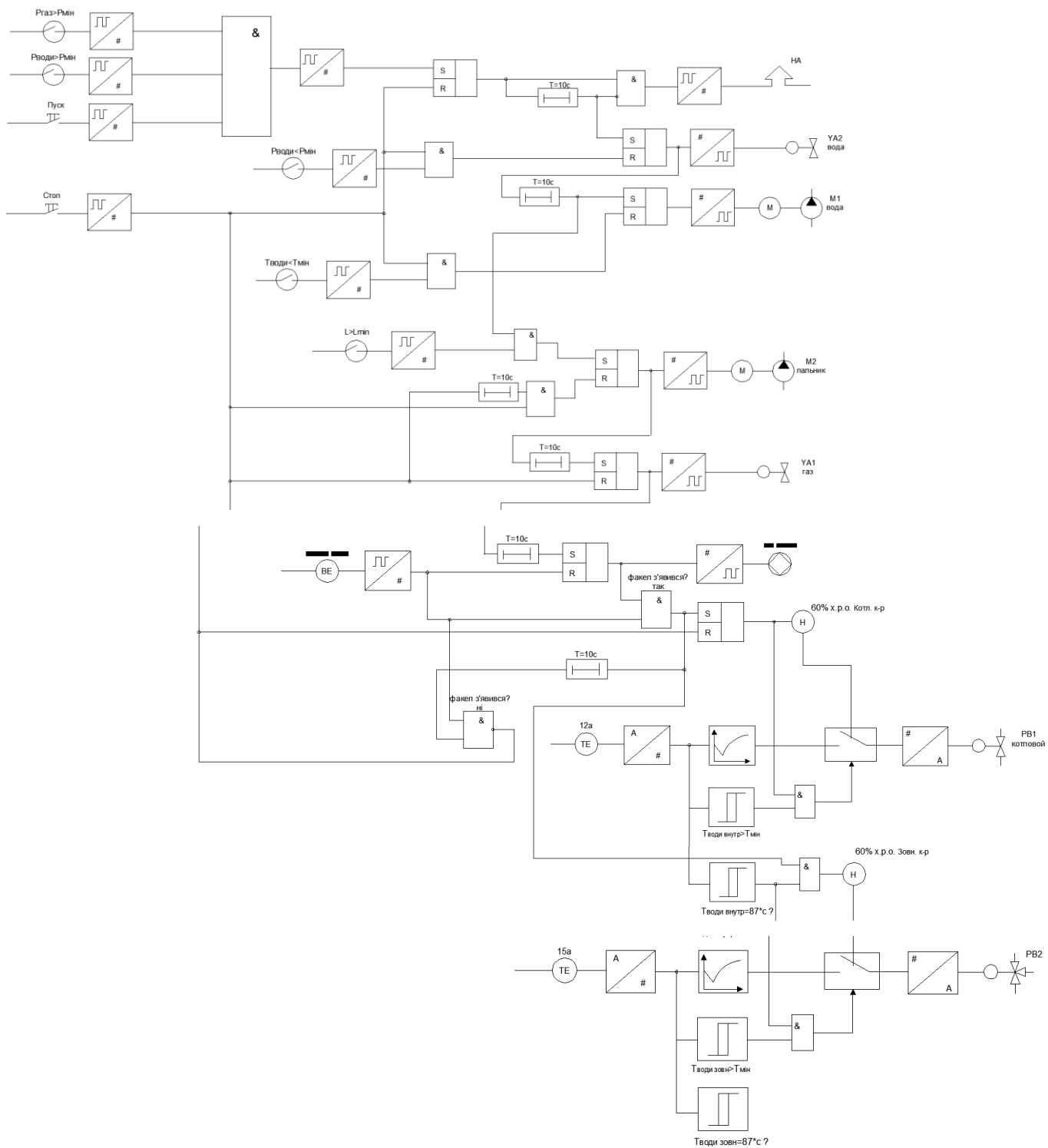


Рис. 4.9 : алгоритм логіко-програмного управління функціональною схемою розроблений у середовищі AutoCAD регулятор. Нуль орган. перемикач

Формування умов необхідних для запуску котельної установки здійснює елемент И (2.1), по сигналам від датчиків тиску газу, тиску води та кнопки пуску, які надходять в схему через ДЦП (1.1, 1.2 та 1.3 відповідно), підхоплення сигналу пуску і утримання його від сигналу кнопки «Пуск» здійснює RS – тригер (3.1). З появою

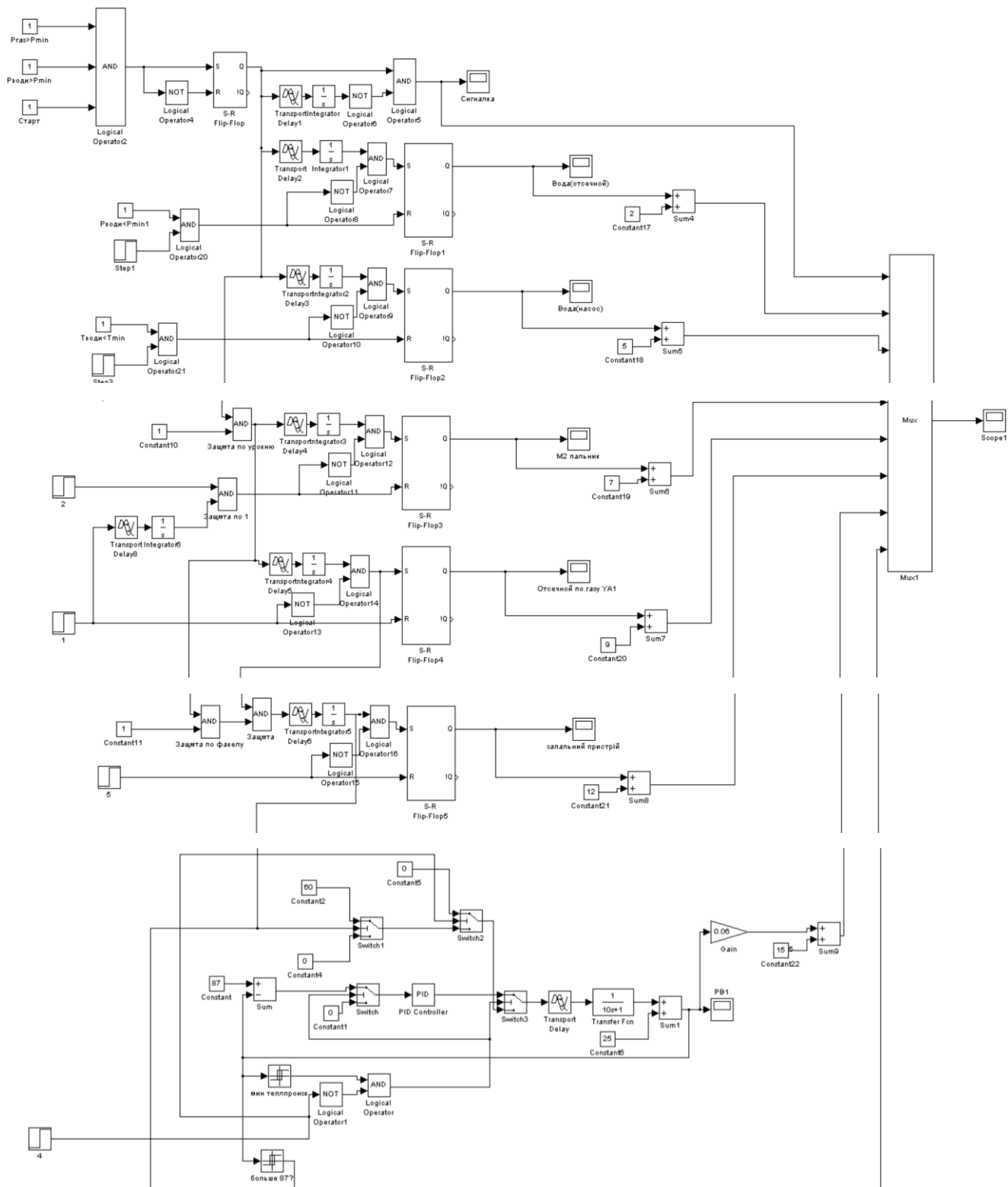
логічної 1 на вході RS – тригера (3.1) починає працювати передпускова звукова сигналізація (ППЗС). Витримка часу ППЗС забезпечує таймер (4.1). Формує сигнал на ППЗС елемент И (2.2) через ЦДП (1.4). По завершенні ППЗС за сигналом від таймера (4.1) на вхід RS – тригера (3.2) через ЦДП (1.5) поступає сигнал на відкриття до відсічного клапану УА1. Сигнал через таймер (4.2) потрапляє до RS – тригера (3.3), від якого він йде до ЦДП (1.6), від якого вже сформований сигнал потрапляє до насоса подачі води М1. Для запуску Пальника необхідно щоб були виконані наступні умови: до елемента И (2.3) повинен прийти сигнал від попереднього таймера (4.2) та сигнал від датчику рівня через ДЦП (1.10) , який сигналізує, що котел вже наповнений водою, після сигнал потрапляє до RS – тригера (3.4), а потім до ЦДП (1.7), який в свою чергу включає пальник на продувку. Після того, як відпрацював таймер (4.3), сигнал потрапляє до входу RS – тригера (3.5), який формує сигнал до ЦДП (1.8), який в свою чергу вмикає Відсічний клапан подачі газу УА1. Після того, як відпрацював таймер (4.4), сигнал потрапляє до входу RS – тригера (3.6), який формує сигнал до ЦДП (1.9), який в свою чергу вмикає Запальний пристрій.

Далі можливі два шляхи: розпалення пройшло вдало, або ні, якщо вдало, то від датчика ВЕ через ДЦП (1.11), сигнал потрапляє на вхід RS – тригера (3.6), та на перший вхід елемента И (2.4), на другий сигнал надходить від сигналу RS – тригера (3.6), після чого сигнал потрапляє до наступного RS – тригера (3.7), який запускає перший контур автоматичного регулювання, його здійснює регулятор, що отримує сигнал зворотного зв'язку від датчика температури (7а) через АЦП (1.12). Сигнал управління через ЦАП (1.12) та електропневматичний перетворювач потрапляє на виконавчий механізм (РВ1). В процесі пуску ділянки в роботу, виконавчий механізм отримує сигнал від задатчика. Який (при наявності сигналу «Пуск») відкриває регулюючий орган на 60%х.р.о. котрий потрапляє на виконавчий механізм РВ1, ступіню відкриття якого досягає 72*С у першому контурі. Другий контур регулювання з РВ2 реалізовано аналогічно в якому досягається температуру 87*С на виході до користувача.

Якщо розпалення пройшло невдало, сигнал про це потрапляє від датчику ВЕ, та попереднього елемента И, вихід цього елемента інвертується і вже логічна 1 яка

вимикає увесь контур.

4.5. Імітаційне моделювання системи логічного керування



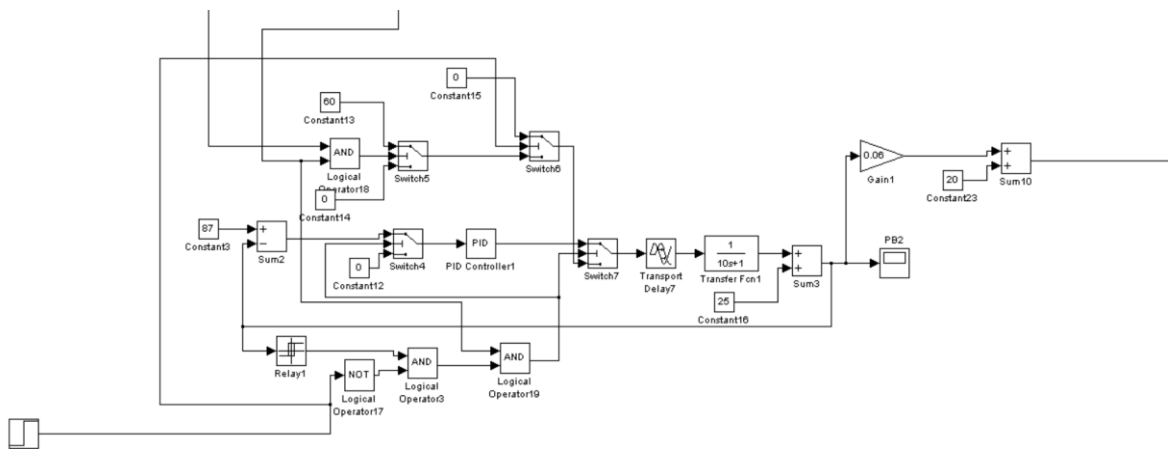


Рис 4.10 : алгоритм логіко-програмного управління функціональною схемою розроблений у середовищі MatLab

4.5. Імітаційне моделювання системи логічного керування

За відтворенню циклограмою визначили принципову придатність розробленої логічної схеми керування. Циклограма роботи наведена на рис 4.11.

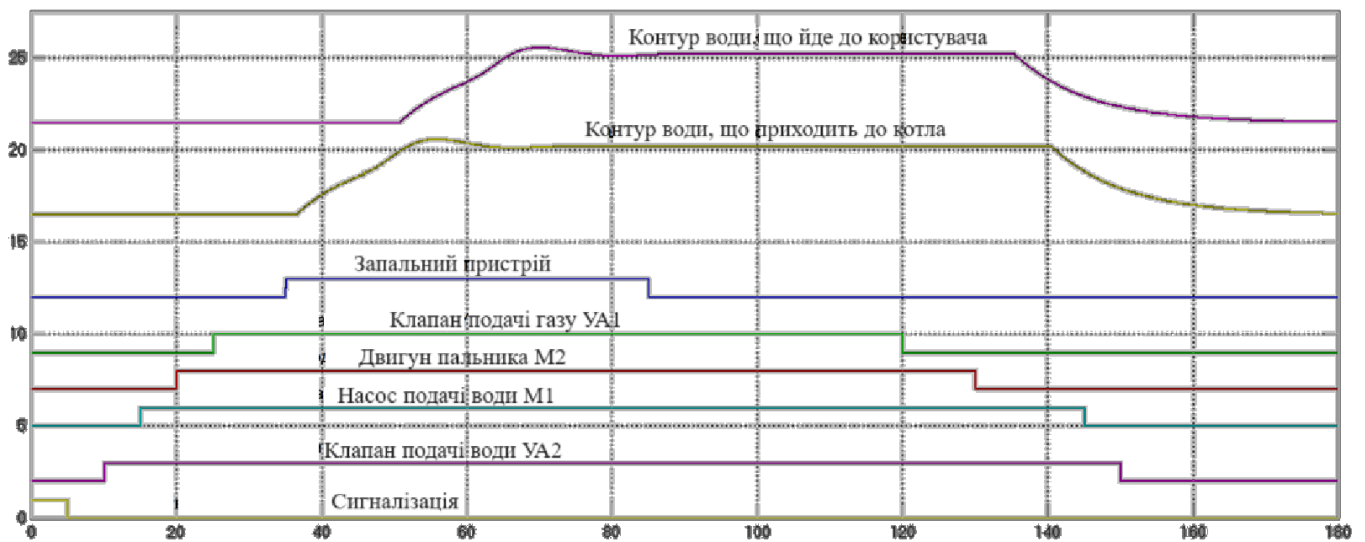


Рис. 4.11 : Циклограма пуску та зупинки

Висновки за розділом

Було розроблено регламенти та алгоритми пуску, зупинки та аварійної зупинки водогрійного котлоагрегату. Розроблений алгоритм логіко-програмного управління функціональною схемою у середовищі AutoCAD та MatLab, наведена циклограма пуску та зупинки ділянки. Результати моделювання алгоритмів САК відповідають у цілому 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
Вода	72-87*С
Газ	65 кПа

Описуємо 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

Вибухонебезпечна зона класу 2 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго. У цих випадках можливі аварії катастрофічних розмірів (розрив трубопроводів високого тиску або резервуарів значної місткості) не повинні розглядатися під час проектування електроустановок.

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

Табл. 5.1 Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних машин (стаціонарних і пересувних) у залежності від класу вибухонебезпечної зони

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

Табл. 5.2 Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів (стаціонарних, пересувних і переносних) у залежності від класу вибухонебезпечної зони

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

Для приміщення, де встановлений водогрійний котлоагрегат, слід вибрати ступінь захисту оболонки електричних машин та ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів - «Підвищена надійність проти вибуху».

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

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

знаходиться горюча рідина, яка має температуру спалаху більше +61° С.

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

Табл. 5.3 Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин у залежності від класу пожежонебезпечної зони

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

Табл. 5.4 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-Па	П-III
Установки стаціонарні або на пересувних механізмах (крани, тельфери тощо), які іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44
Установки стаціонарні або на пересувних механізмах, які не іскрять за умовами роботи	IP44	IP44	IP44	IP44
Шафи для розміщення апаратів і приладів	IP44	IP54 IP44*	IP44	IP44
Коробки наборів затискачів силових і вторинних кіл	IP44	IP44	IP44	IP44

Для приміщення, де встановлений водоگрійний котлоагрегат, слід вибрати мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин, електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів не менше IP44.

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

Робимо перелік параметрів які підлягають вимірюванню

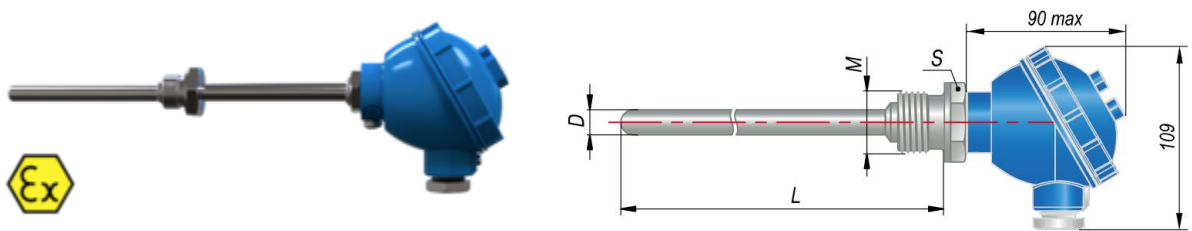
№	Параметр	позначення	Єдиниця виміру	Номинальне значення	Допустимые отклонения от номинала	
					Длительные	Кратковременные

					величина	величи на	время
1	Температура на вході котла	T ₁	°C	72	±0.5	±2	100с
2	Температура на виході котла	T ₄	°C	87	±5	±7	120с
3	Тиск на вході котла	P ₂	бар	2.5	±5	±7	200с
4	Тиск на виході котла	P ₃	бар	2.5	±5	±8	200с
5	Температура газу, що виходить	T ₅	°C	88	±5	±7	300с
6	Тиск газу на вході до пальника	P ₁	бар	2	±0,5	±1	150с
7	Температура води від споживача	T ₃	°C	75	±3	±5	100с
8	Температура води до споживача	T ₂	°C	87	±0.5	±1.5	100с
9	Наявність полум'я у топці	BE _{кп}	280 - 400 нм	1/0	-	-	-

10	Загазованніс ть у приміщенні	Q_{II}		1/0	-	-	-
----	------------------------------------	----------	--	-----	---	---	---

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

Для вимірювання температури води використовуємо Термометр ОВЕН ДТС105Е-РТ100.0,5.60.МГ.G1/2.И.ЕХІ-Т6 [73Н] 8500



Це означає, що виготовлення та постачання підлягає термометр опору платиновий Pt100, модель 105, клас точності 0,5 %, довжина монтажної частини 60 мм, МГ – металева головка, вибухозахищене виконання (іскробезпечний ланцюг 0Ex іа ІІС Т6 Ga X), діапазон перетворення температур : 0 ... +200 ° С, з HART-протоколом.

Тип виходу: аналоговий, багатогранний

Діапазон вимірюваних температур: 0...+200 °С

НСХ: Pt100

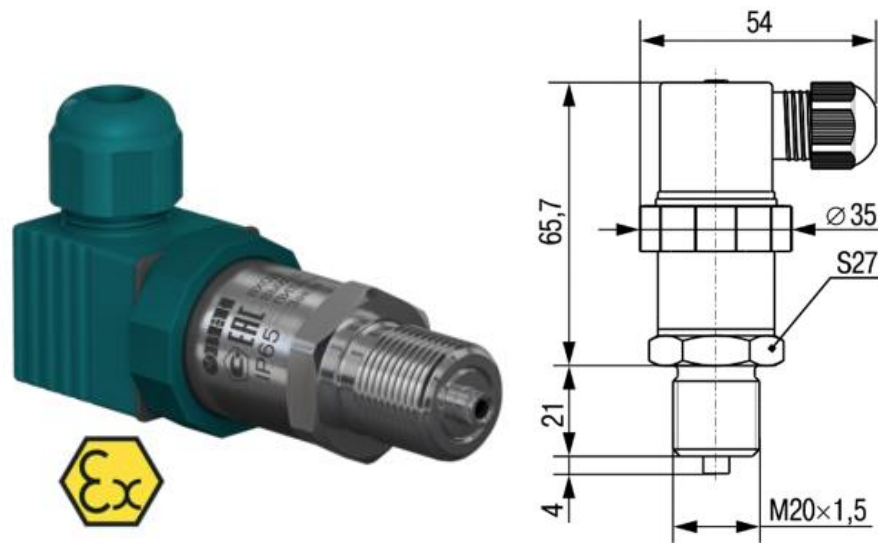
Вихідний сигнал: 4...20 мА, HART

Клас точності: ±0,5%

Міжповірочний інтервал - 2 роки

Діапазон температур навколишнього повітря під час експлуатації: -40...+85 °С.

Для вимірювання тиску газу використовуємо датчик тиску для неагресивних газів у виконанні ЕХІ. ОВЕН ПД100І-ДІ0,1-871-0,5-ЕХІ 4421



Перетворювач ПД100І призначений для створення систем автоматичного регулювання та керування в котельній автоматичці, системах вентиляції, на теплових пунктах тощо. Призначений лише для неагресивних газів, у тому числі горючих (повітря, природний газ, пічний газ).

Верхня межа вимірів – 0,1 МПа.

Тип вимірюваного тиску – надлишковий (ДІ)

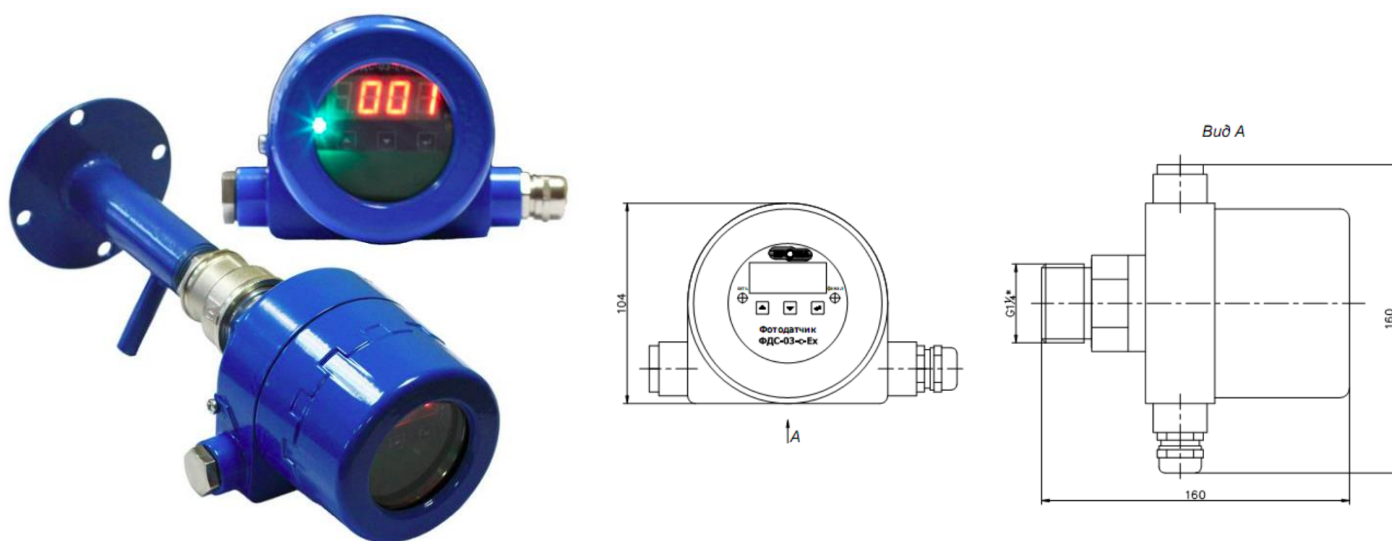
Діапазон температур вимірюваного середовища: -40 ... +100 °С.

Клас точності – 0,5%.

Міжповірочний інтервал - 5 років.

Вибухозахист – «іскробезпечний ланцюг» 1Ex ia ІС Т6 Gb.

Для контролю наявності факелу використовуємо ФДС-03-С-Ex, фотодатчик контролю полум'я вибухозахищений 9240



Фотодатчик ФДС-03-с-Ех призначено для перетворення інтегрального потоку ультрафіолетового випромінювання полум'я газового (мазутного) пальника в топках котлоагрегатів, технологічних установок, стандартний струмовий сигнал (4-20)мА і видачі сигналів наявності/відсутності полум'я

Тип виходу - ФДС-03-с-Ех – оптоелектронне реле; токовий аналоговий сигнал(4-20) мА.

Час спрацьовування

ФДС-03-Ех (налаштовується в меню):

- у разі полум'я 0 - 5 с;
- при згасанні полум'я 0 – 5 с.

Живлення фотодатчика - Напруга постійного струму від $24 \pm 2,4\text{В}$.

Температура оточуючого повітря від - 40 до + 60°C.

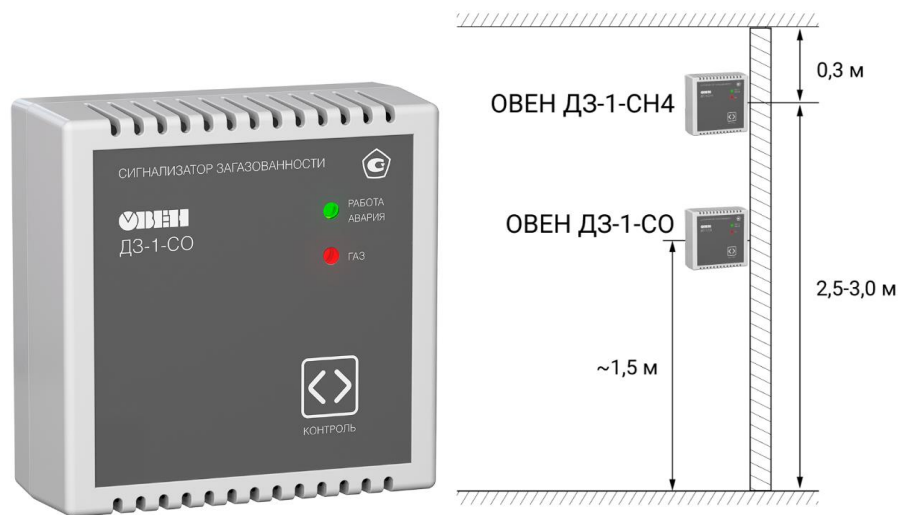
Ступінь захисту IP65

Для вимірювання рівня в котлі використовуємо Поплавковий сигналізатор рівня ОВЕН ПДУ-1.2.700..50./15-Ех 1340

умовного проходу від 100 до 1000 мм (методом «площа-швидкість» з розташуванням вимірювального зонда на осі трубопроводу) послідовність електричних імпульсів із частотою 0-250 Гц та струмовий сигнал 4-20 мА.

- Надлишковий тиск від 0 до 6 МПа
- Температура від мінус 20 до плюс 180 ° С;

Для сигналізації загазованості в приміщенні використовуємо сигналізатор (детектор) загазованості природного газу ОВЕН ДЗ-1-СН4



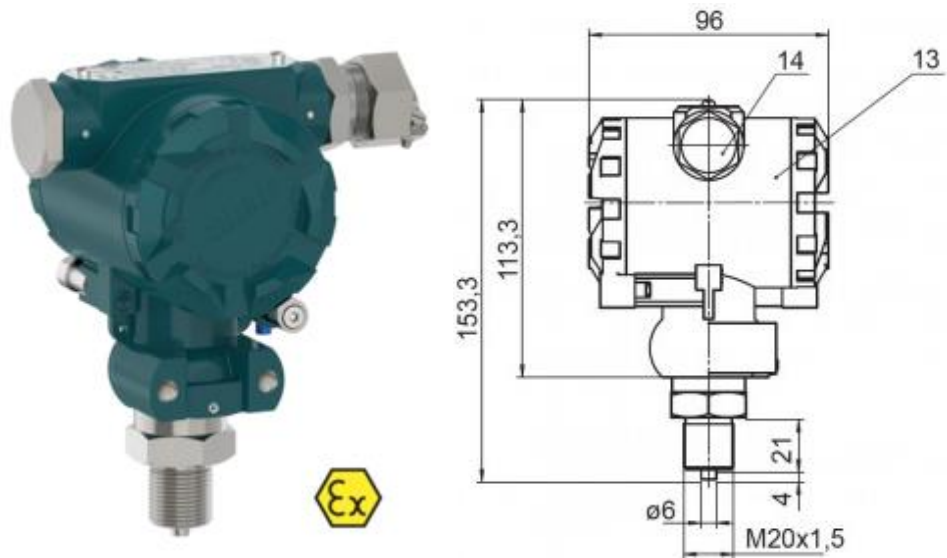
Індикація (світлова та звукова) досягнення СН4 двох порогових значень – 20 мг/м³ та 100 мг/м³

Висока чутливість та селективність до СН4.

Вбудована самодіагностика та режим імітації аварії.

Два вихідні перекидні е/м реле по порогах для управління виконавчими механізмами

Для вимірювання тиску води використовуємо вибухозахищений датчик перетворювач тиску ОВЕН ПД100-ДА1,0-175-0,5-ЕХ



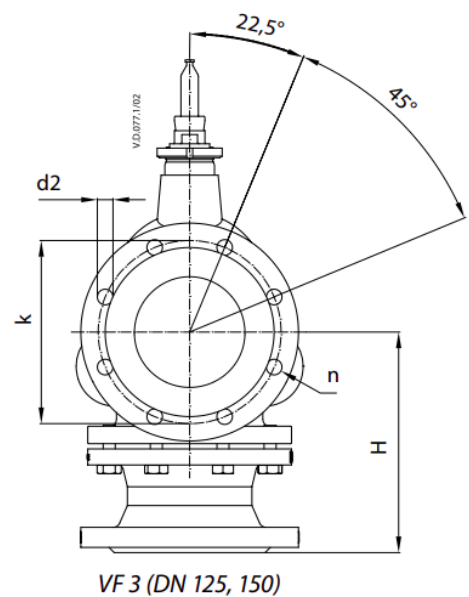
Верхня межа вимірювань – 1,0 МПа.

Діапазон температур вимірюваного середовища: -20...+140 °С.

Клас точності - 0,5 %

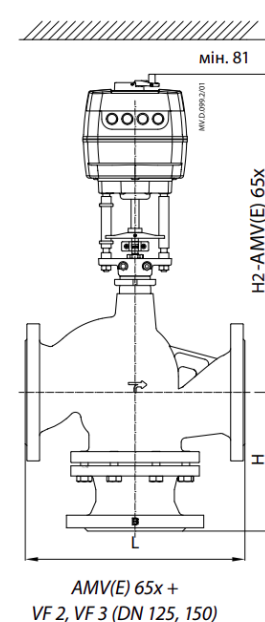
Вихідний сигнал постійного струму - 4...20 мА, 2-х дротова схема

Danfoss VF3 Клапан регулюючий триходовий DN150 Kvs 320 102 360



Тип	DN, мм	L	H	мм				n	Вага, кг
				H1 ¹⁾	H2 ¹⁾	k	d2		
VF2	125	400	160	629	595	210	18	8	54,0
	150	480	200	682	648	240	22	8	79,0
VF3	125	400	250	629	595	210	18	8	65,3
	150	480	300	682	648	240	22	8	92,0

¹⁾ При встановленні підігрівника штоку розміри H1 або H2 не змінюються.



Сфера застосування

Опалення

Регульоване середовище

Підготовлена вода

Робочий тиск

16 бар

Максимальна температура, °C

200

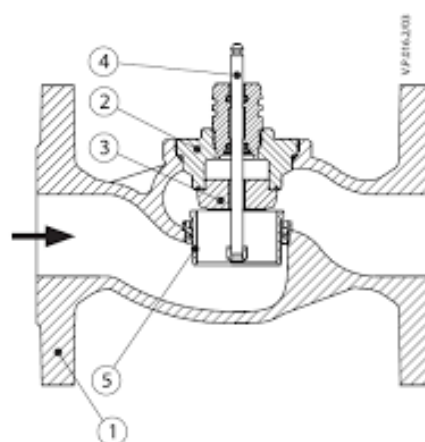
Пропускна здатність

320 м3/год

Матеріал корпусу

Чавун сірий EN-GJL-250(GG-25)

Danfoss VF2 Клапан регулюючий двоходовий DN65 | Kvs 63



Сфера застосування

Опалення

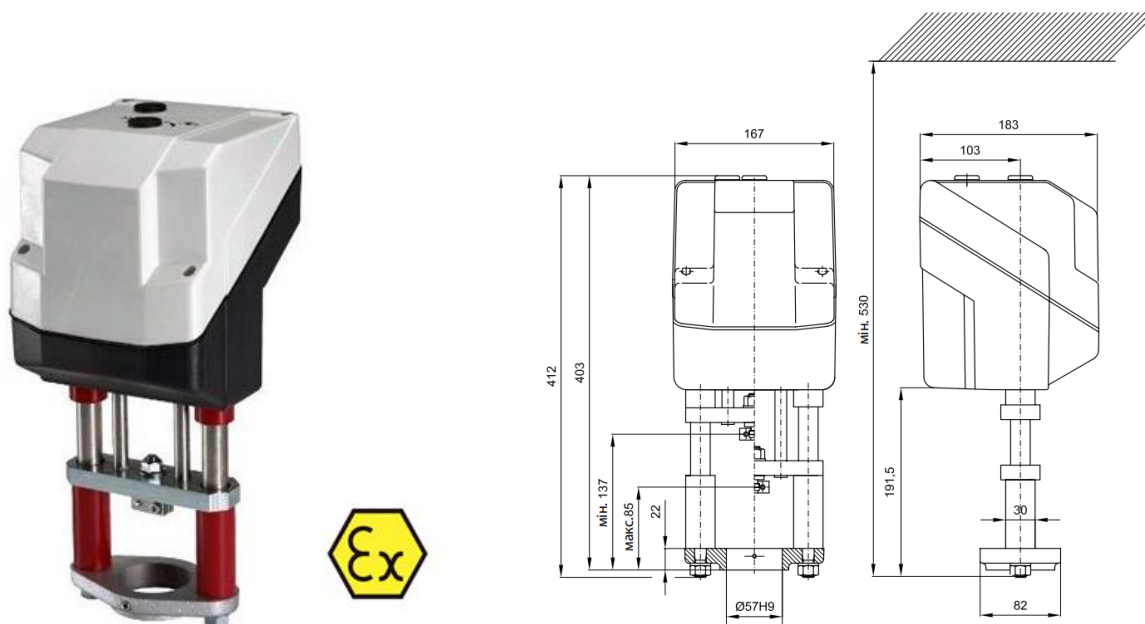
Регульоване середовище

Підготовлена вода

Робочий тиск	16 бар
Максимальна температура, °C	200
Пропускна здатність	320 м3/год
Матеріал корпусу	Чавун сірий EN-GJL-250(GG-25)

Тип	DN, мм	L	H	H1 "	H2 "	k	d2	n	Вага, кг
	мм								
VF2	125	400	160	629	595	210	18	8	54,0
	150	480	200	682	648	240	22	8	79,0

Для регулювання обираємо редукторний електропривод Danfoss AME 86-Ex 60 800



Електропривод, АМЕ86-Ех керуються будь-яким типом аналогового сигналу, як то 0(2)...10 В або 0(4)...20 мА електронних регуляторів, та забезпечують тривалу та безвідмовну роботу регулювальних клапанів в системах опалення, вентиляції, кондиціонування повітря та гарячого водопостачання будівель. На додаток до основних функцій, таких як ручне керування та індикація положення штоку, електропривод, АМЕ86-Ех також оснащений силовими контактними муфтами, які відключають двигуни приводів при досягненні штоком клапанів крайніх положень (повністю відкрито/ закрито), та у випадках будь-яких перевантажень приводу.

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

Робимо 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.

Робимо вибір контролера та модулів вводу виводу

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

Таблиця № 1.1 Список параметрів що вводяться та виводяться з контролера.

	Найменування параметру	Умовне позначення	Вид сигналу A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході/виході контролеру	Позначення на схемі
1	Електродвигун насоса подачі води M1	1	D	I	«відкритий колектор»	DI1
2	Двигун пальника M2	2	D	I	«відкритий колектор»	DI2
3	Електродвигун насоса подачі води M1	1	D	O	«відкритий колектор»	DO1
4	Двигун пальника M2	2	D	O	«відкритий колектор»	DO2
5	Відсічний клапан подачі газу	3	D	O	24 V DC	DO3

6	Відсічний клапан подачі води	4	D	O	24 V DC	DO4
7	Відсічний клапан подачі газу	3	D	I	24 V DC	DI3
8	Відсічний клапан подачі води	4	D	I	24 V DC	DI4
9	Датчик температури води, що йде до користувача	5	A	I	(4-20mA)	AI1
10	Датчик температури води, що йде до користувача	5	A	O	(4-20mA)	AO1
11	Датчик температури води, що йде до котла	8	A	I	(4-20mA)	AI2
12	Датчик температури води, що йде до котла	8	A	O	(4-20mA)	AO2
13	Датчик тиску газу	10	A	I	(4-20 mA)	AI3
14	Датчик витрат газу	11	A	I	(4-20 mA)	AI4
12	Датчик контролю наявності факела	12	D	I	24 V DC	DI5
13	Датчик рівня води	13	D	I	24 V DC	DI6
14	Датчик температури води на вході з користувача	14	A	I	(4-20 mA)	AI7
15	Датчик температури води на виході з котла	17	A	I	(4-20 mA)	AI10
16	Датчик тиску води	15,16, 18	A	I	(4-20 mA)	AI8,9, 11
17	Температура води у котлі	19	A	I	(4-20 mA)	AI12
18	Датчик загазованості у	20	D	I	24 V DC	DI7


	приміщенні					
--	------------	--	--	--	--	--

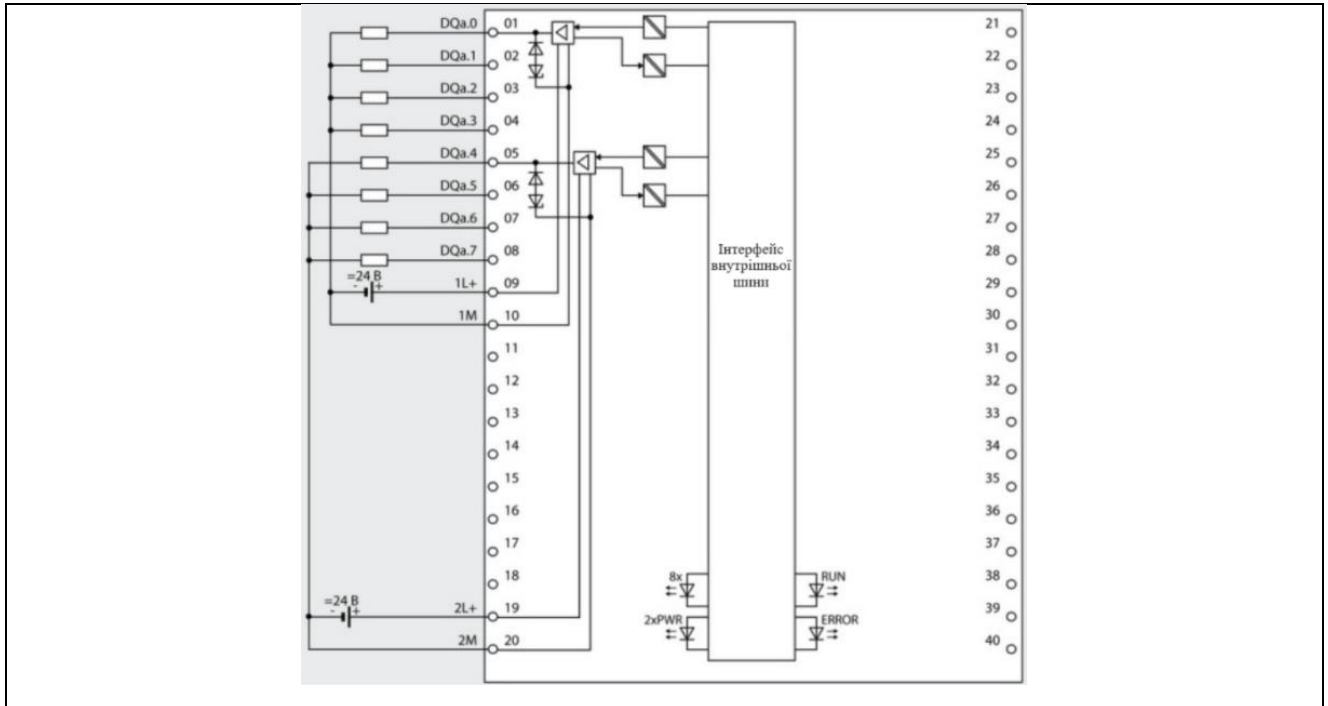
Кількість каналів вводу\виводу: AI – 10, AO – 2, DI – 7, DO – 4

Технічну структуру системи управління розробимо на базі контролера S7-1500. Для реалізації алгоритмів управління в модулях ПЗО контролера повинні бути передбачені 8 аналогових входів, 2-аналогових виходи, 7-дискретних входів і 4-дискретних виходів.


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

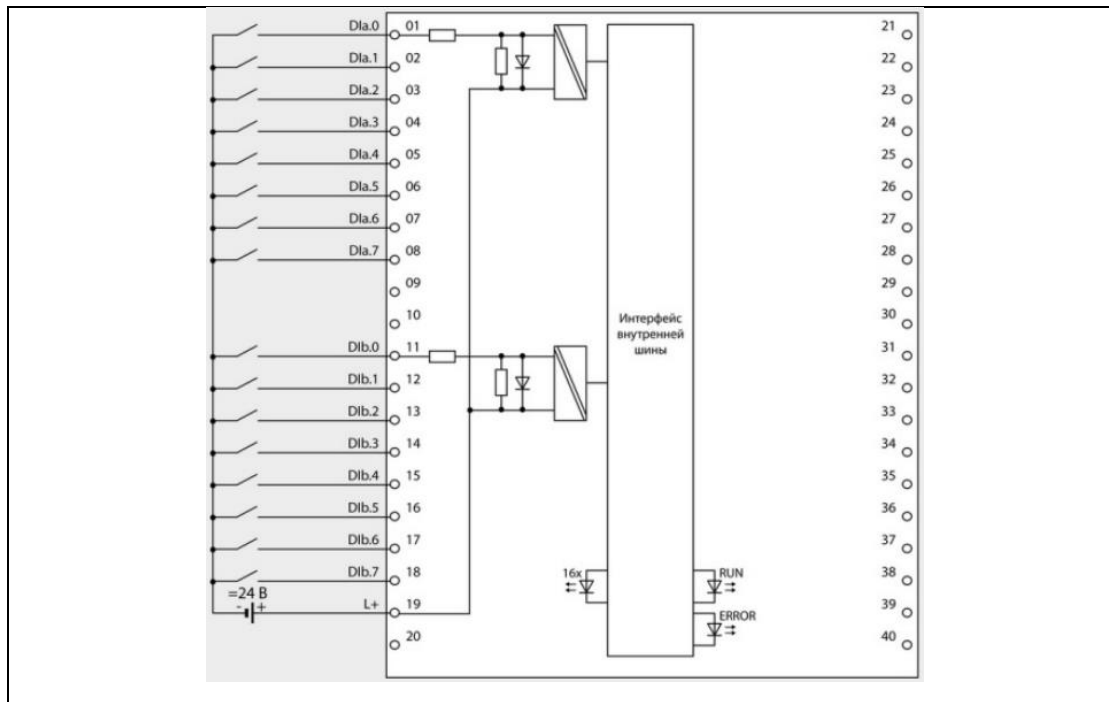
Та модуль розширення для вихідних дискретних сигналів 6ES7 522-1BF00-0AB0 DQ 8x24VDC/2A HF

	Перетворення вхідних дискретних сигналів контролера на його внутрішні логічні сигнали
	2 ізольовані групи по 4 входи = 24В,2А
	Підтримка функцій MSO в PROFINET IO
	Використання у загальних приладах вводу-виводу PROFINET IO
	Реакція, що налаштовується на зупинку CPU на рівні кожного каналу
	Підтримка діагностичних функцій на рівні кожного каналу
	Зміна параметрів налаштування під час роботи
Схема підключення зовнішніх ланцюгів	




Модуль розширення для вхідних дискретних сигналів 6ES7 521-1BH50-0AA0
DI 16x24VDC SRC BA

	<p>Перетворення вхідних дискретних сигналів контролера на його внутрішні логічні сигнали</p>
	<p>1 група з 16 входами = 24 з низьким рівнем вхідного активного сигналу</p>
<p>Схема підключення зовнішніх ланцюгів</p>	



Модуль розширення для вхідних аналогових сигналів 6ES7 531-7QD00-0AB0

AI 4xU/I/RTD/TC ST

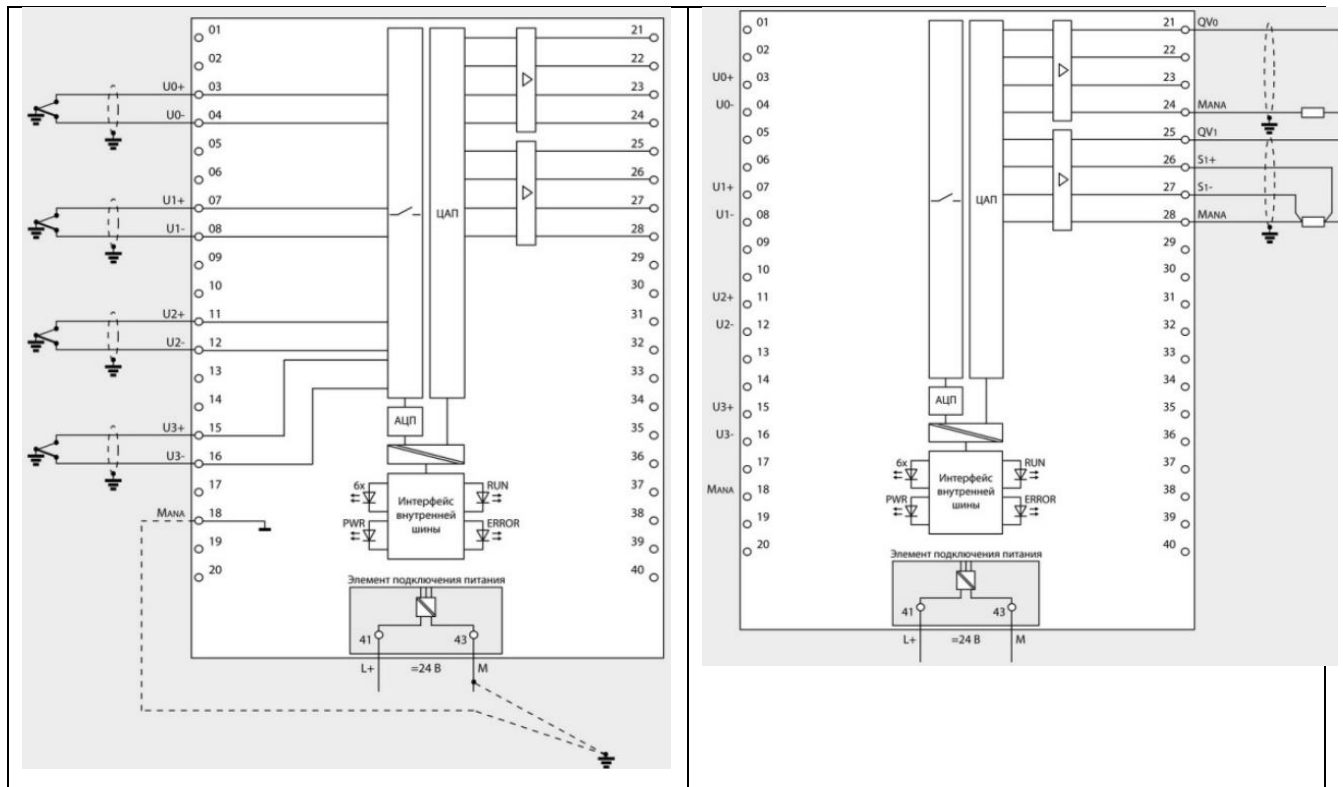
	<p>Аналого-цифрове перетворення вхідних аналогових сигналів контролера та формування цифрових значень вимірюваних параметрів</p>
	<p>4 вхідних каналів на модуль. З них:</p> <p>До 4 каналів на модуль для вимірювання уніфікованих сигналів напруги або сили струму, а також температури за допомогою термопар.</p> <p>До 2 каналів на модуль для вимірювання опору або температури за допомогою термометрів опору</p>
	<p>Діапазони вимірювань/ датчики:</p> <p>$\pm 50/\pm 80/\pm 250/\pm 500$ мВ, $\pm 1/\pm 2.5/\pm 5/\pm 10/1\dots 5$ Ст.</p> <p>$0\dots 20/4\dots 20/\pm 20$ мА.</p> <p>$0\dots 150/0\dots 300/0\dots 600/0\dots 6000$ Ом, РТС.</p> <p>Термопари типів В/Е/Ж/К/Н/Р/С/Т.</p> <p>Термометри опору</p>

Ni100/Ni1000/LGNi1000/Pt100/Pt200/Pt500/Pt1000.	
2-провідне підключення датчиків сили струму	4-провідне підключення датчиків сили струму

Модуль розширення комбінований для вихідних та входних аналогових сигналів 6ES7 534-7QE00-0AB0 AI 4x U/I/RTD/TC/ AQ 2x U/I ST

Аналого-цифрове перетворення входних аналогових сигналів контролера та формування цифрових значень вимірюваних параметрів	Цифро-аналогове перетворення внутрішніх цифрових значень контролера та формування його вихідних аналогових сигналів
4 входні канали на модуль. З них:	2 вихідних канали для формування

<p>До 4 каналів на модуль для вимірювання уніфікованих сигналів напруги або сили струму, а також температури за допомогою термопар.</p> <p>До 2 каналів на модуль для вимірювання опору або температури з допомогою термометрів опору</p>	<p>уніфікованих сигналів напруги або сили струму</p>
<p>Діапазони вимірювань/ датчики:</p> <p>$\pm 50/\pm 80/\pm 250/\pm 500$ мВ, $\pm 1/\pm 2.5/\pm 5/\pm 10/1\dots 5$ Ст. $0\dots 20/4\dots 20/\pm 20$ мА. $0\dots 150/0\dots 300/0\dots 600/0\dots 6000$ Ом, РТС.</p> <p>Термопари типів В/Е/Ж/К/Н/Р/С/Т.</p> <p>Термометри опору Ni100/Ni1000/LGNi1000/Pt100/Pt200/Pt500/Pt1000.</p>	<p>Діапазони змін вихідних сигналів:</p> <p>$\pm 10/1\dots 5/0\dots 10$ Ст. $0\dots 20/4\dots 20/\pm 20$ мА.</p>
<p>Вимірювання температури за допомогою термопар, внутрішня компенсація</p>	<p>Формування уніфікованих сигналів напруги</p>



В якості блока живлення вибираємо PS 1507 AC/DC 120/230V 60W (6ES7507-0RA00-0AB0)



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	No
Output voltage adjustable	
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.5.17- 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.

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.5.18- загальний вигляд всіх обраних пристроїв
5.4.3 схема технологічної структури та опис контроллера

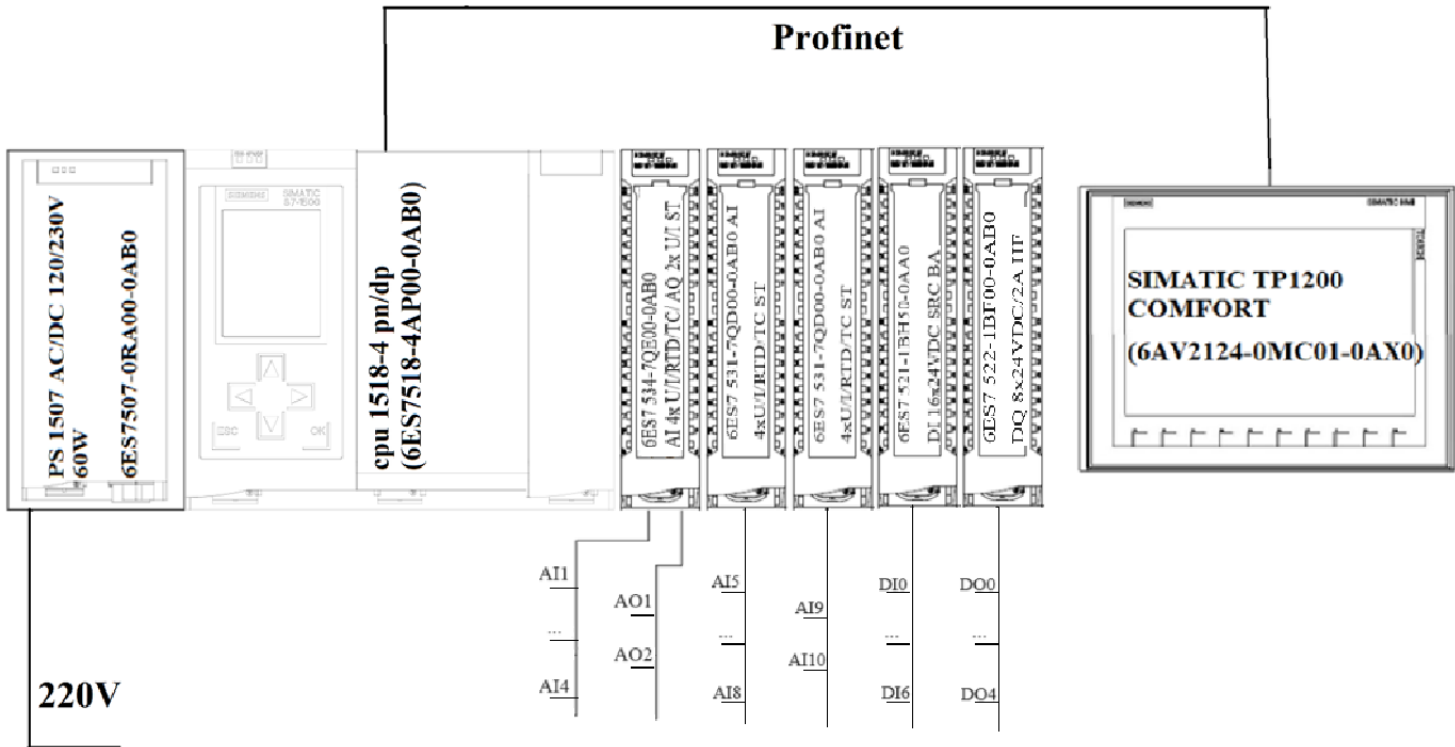


Рис.5.19- схема технологічної структури

Загальний опис контроллера

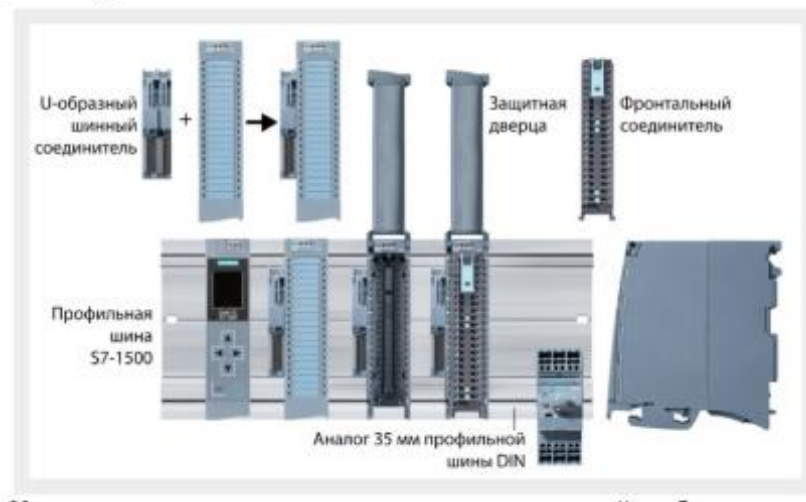


Рис.5.20- загальний вигляд контроллера

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 контроллера 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

(CM 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-1 PN, 450KB PROG, 1,5MB DATA	CPU 1515F-2 PN, 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						
IO 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.5.21- Технічні характеристики

Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом підігріву води. Класи точності вимірюючих пристроїв та їх діапазони. Пристрої мають ступінь захисту IP44. 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 TIA Portal тип контролера та панелі оператора відповідно до 5 розділу, визначаємо структуру і параметри мережі обміну інформацією.

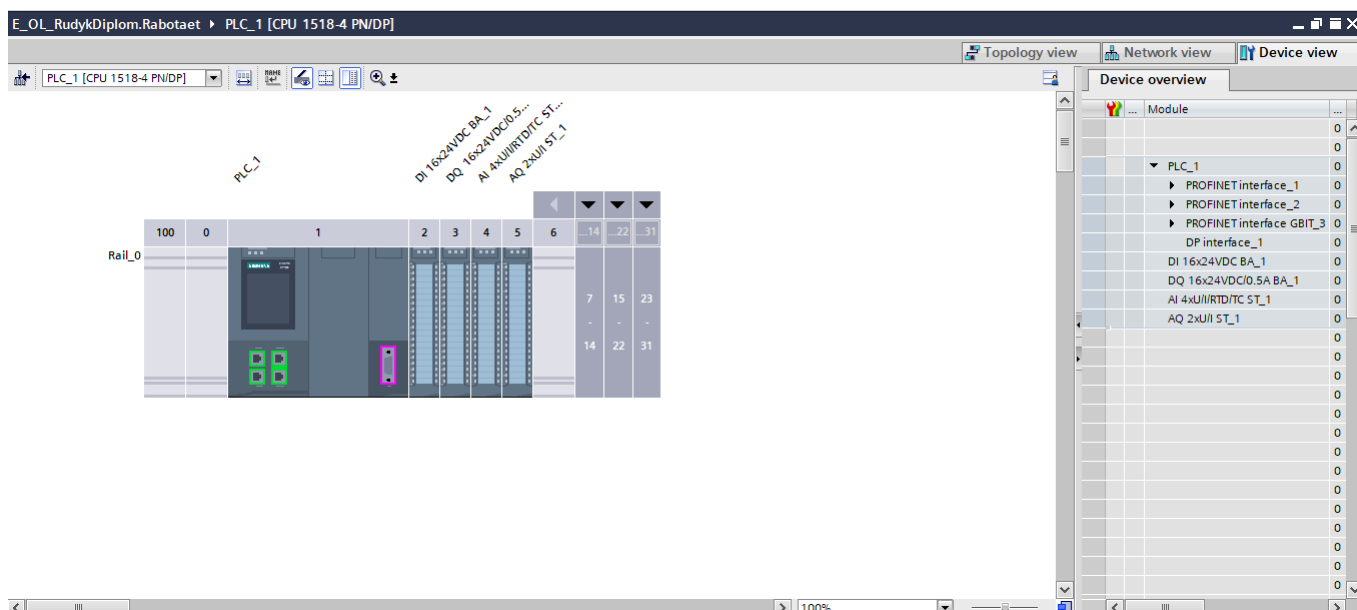


Рис.6.1– тип контролера та конфігурація модулів.

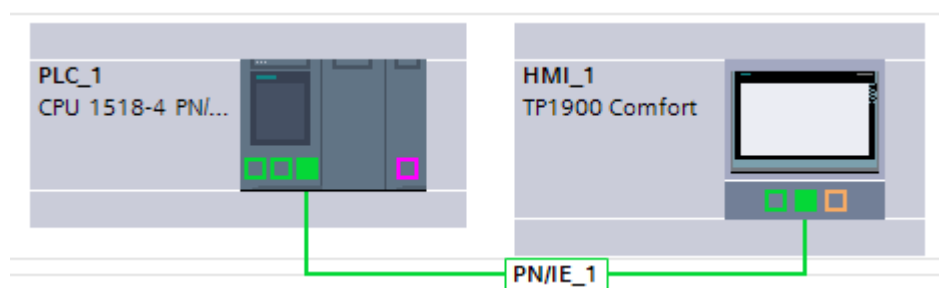


Рис.6.2– параметри параметри мережі обміну інформацією

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 4-20мА для вихідних 0-10В

DI 16x24VDC BA_1 [DI 16x24VDC BA]				
General	IO tags	System constants	Texts	
	Name	Type	Address	Tag table
	bln_HomeValve...	Bool	%I0.0	Default tag table
	bln_WorkValve...	Bool	%I0.1	Default tag table
	bln_ForwardWa...	Bool	%I0.2	Default tag table
	bln_ForwardGor	Bool	%I0.3	Default tag table
	bln_HomeValve...	Bool	%I0.4	Default tag table
	bln_WorkValve...	Bool	%I0.5	Default tag table
	Input7	Bool	%I0.6	Default tag table
	Input8	Bool	%I0.7	Default tag table
	Input9	Bool	%I1.0	Default tag table
	Input10	Bool	%I1.1	Default tag table
	Input11	Bool	%I1.2	Default tag table
	Input12	Bool	%I1.3	Default tag table
	Input13	Bool	%I1.4	Default tag table
	Input14	Bool	%I1.5	Default tag table
	Input15	Bool	%I1.6	Default tag table
	Input16	Bool	%I1.7	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_ValveGas	Bool	%Q0.0	Default tag table
	bOut_Water	Bool	%Q0.1	Default tag table
	bOut_Gor	Bool	%Q0.2	Default tag table
	bOut_ValveWat...	Bool	%Q0.3	Default tag table
	bOut_sinaliz	Bool	%Q0.4	Default tag table
	ZapaI_pr	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 4xU/I/RTD/TC ST_1 [AI 4xU/I/RTD/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 2xU/I ST_1 [AQ 2xU/I 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

Налаштування аналогових модулів входу та виходу

Channel number	Parameter settings	Measurement type	Measuring range	Temperature coefficient	Temperature unit	Reference junction	Fixed reference temperatur	Interference fre...
0	Manual	Current (2-wir...)	4..20mA					50
1	Manual	Current (2-wire tr...	4..20mA					50
2	Manual	Current (2-wire tr...	4..20mA					50
3	Manual	Current (2-wire tr...	4..20mA					50

Рис.6.7– вибір типу сигналу для аналогового входного модулю

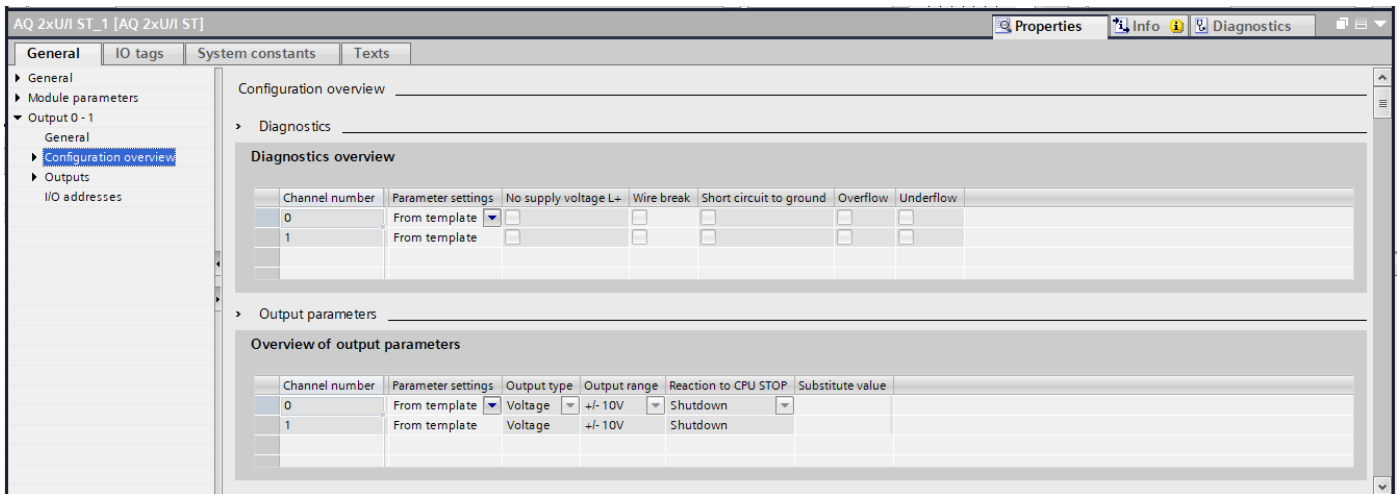


Рис.6.8– вибір типу сигналу для аналогового вихідного модулю

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 «PIA portal open_library_V15» Фрагменти програми «fb_proc» наведені на рисунку 6.9

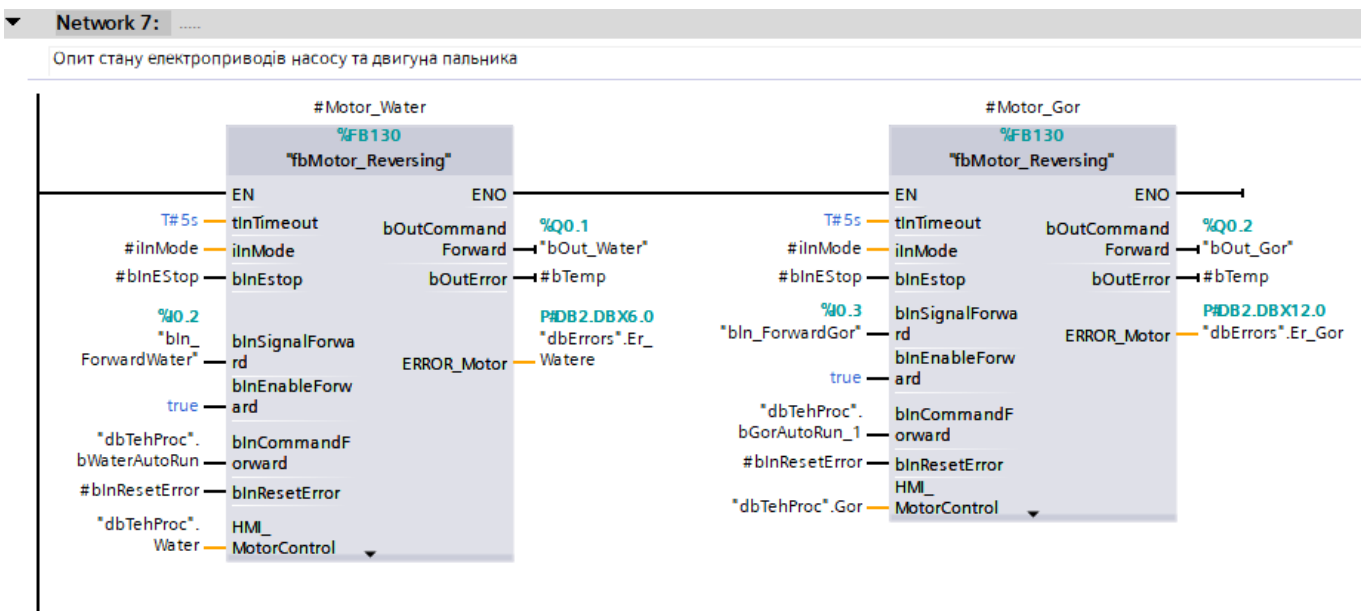


Рис.6.9– опиту стану електродвигунів

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)

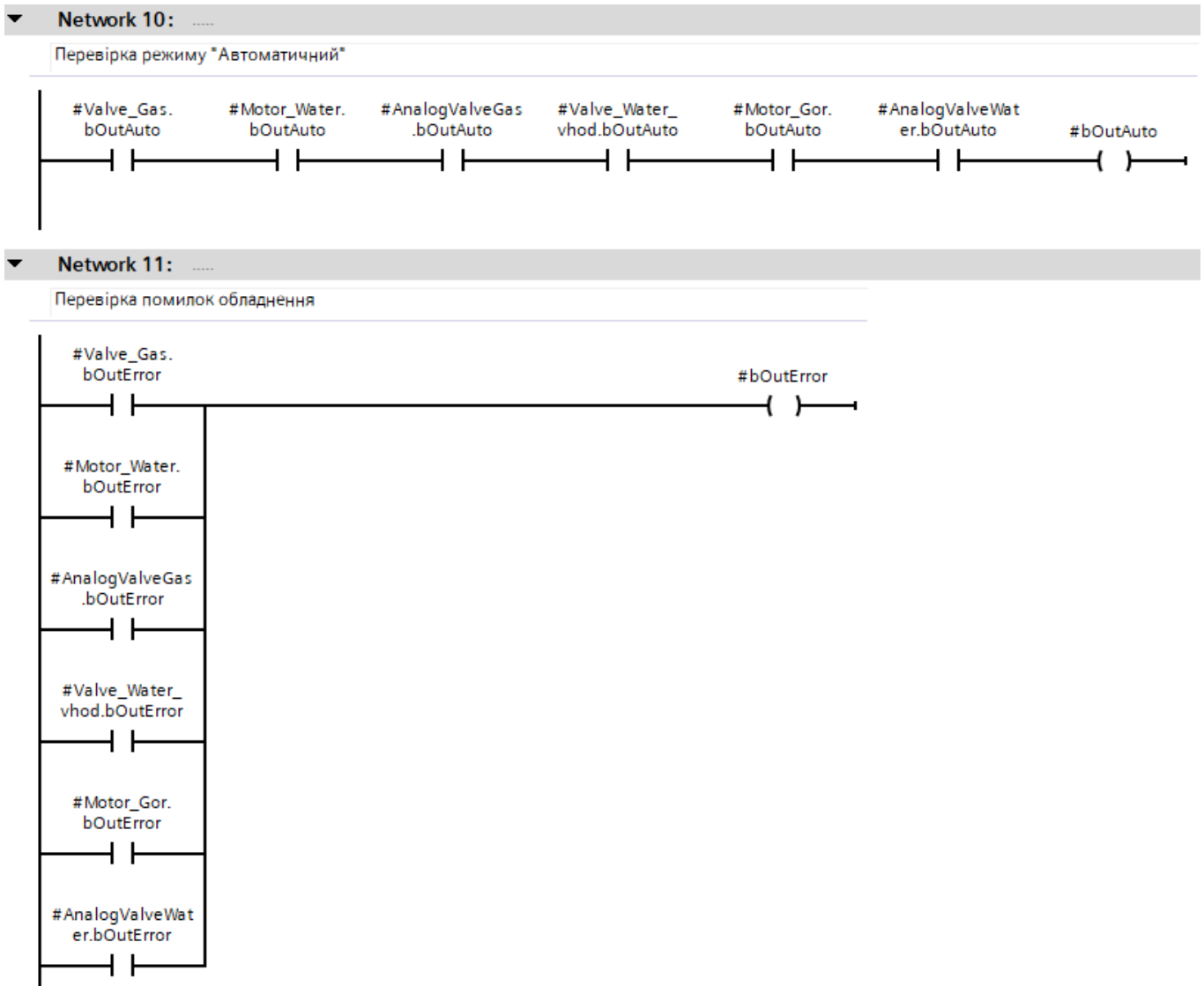


Рис.6.10– фрагмент підпрограми «fb_проє», яка перевіряє чи знаходиться обладнання в режиму «автоматичний» та наявність помилки.

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

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

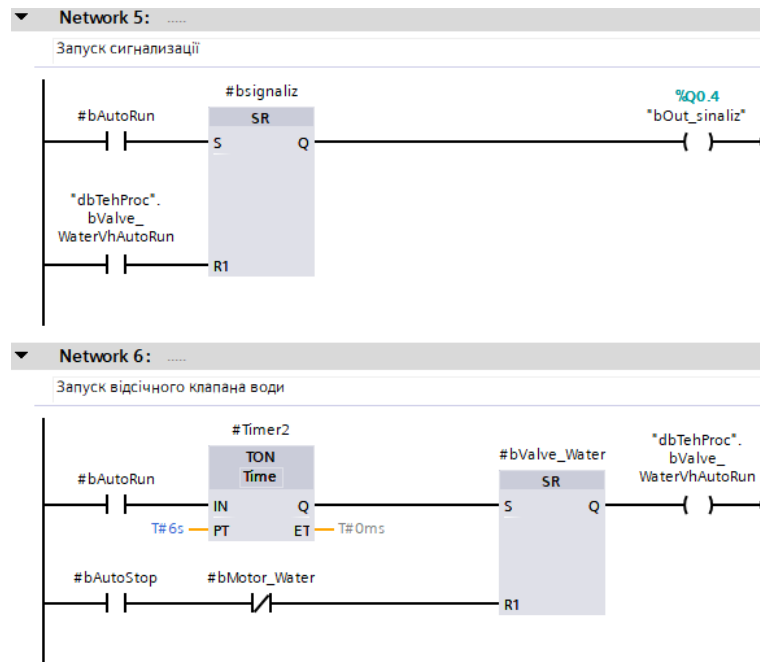


Рис.6.11– передпускова сигналізація та запуск відсічного клапану води

На рис 6.12 підпрограми «auto_run» розглянуто включення насосу пальника та запуск відсічного клапану газу.

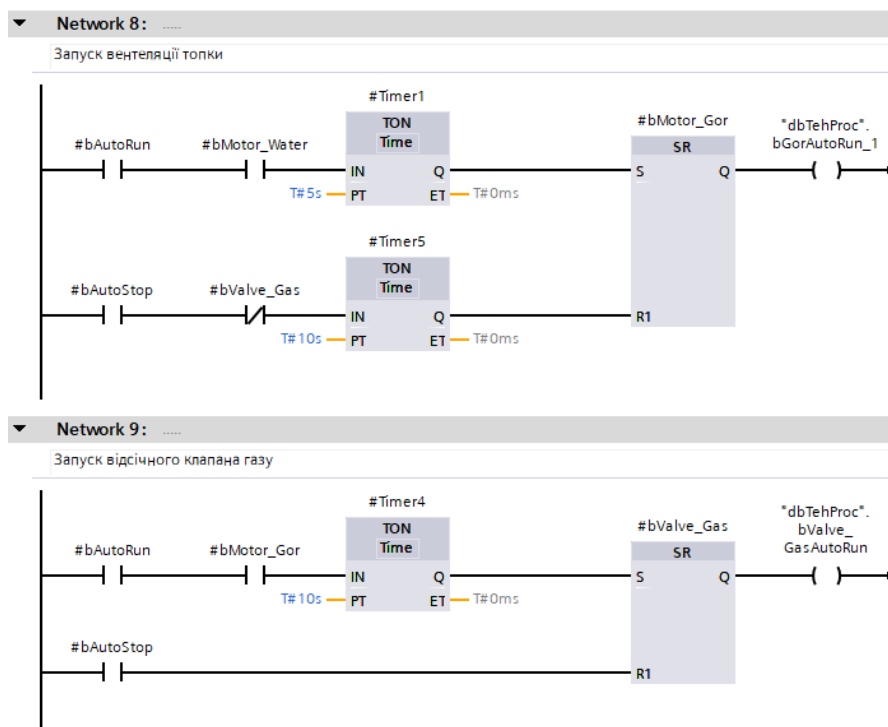


Рис.6.12– умови влючення двигуна пальника та умова вмикання відсічного клапану газу

На рис.6.13 представлена схема яка реалізує установку ручного режиму для ПІД регулятора контуру котлового контуру. Та записує режим роботи регулятора.

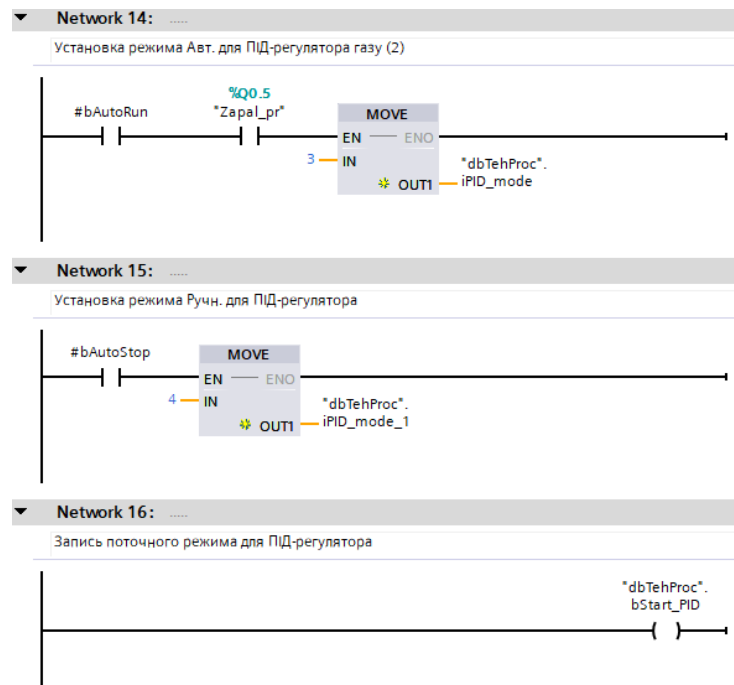


Рис.6.13– Уст. Ручного режиму ПИД регулятора та запис режиму ПИД регулятора

Проводимо тестування програми логічного керування із використанням засобів емуляції контролера.

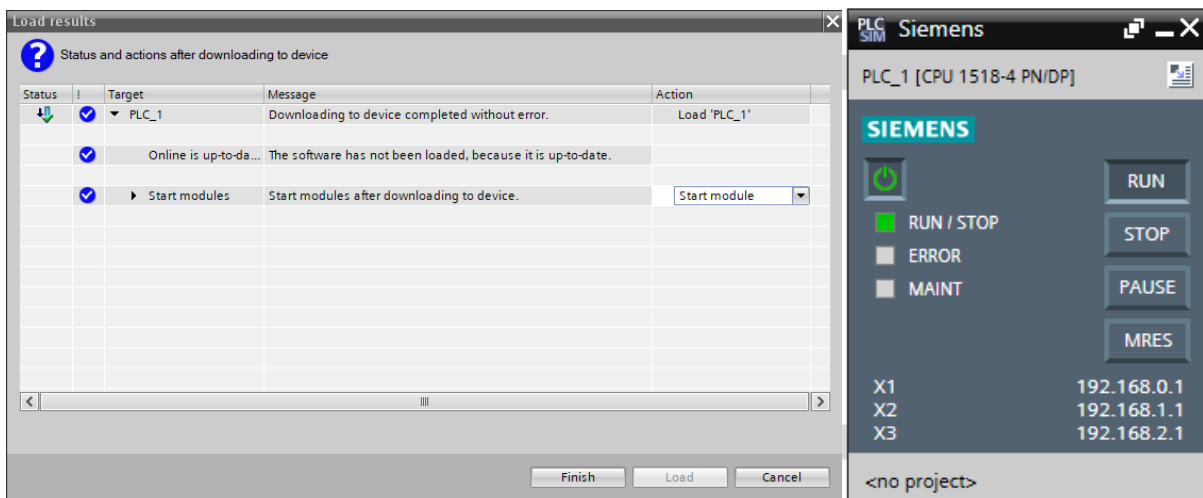


Рис.6.14– загрузка программы в контроллер та її перевірка

6.3. Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання

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

Розробляємо підпрограму «fb_SAR», в якій моделі ОП 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»

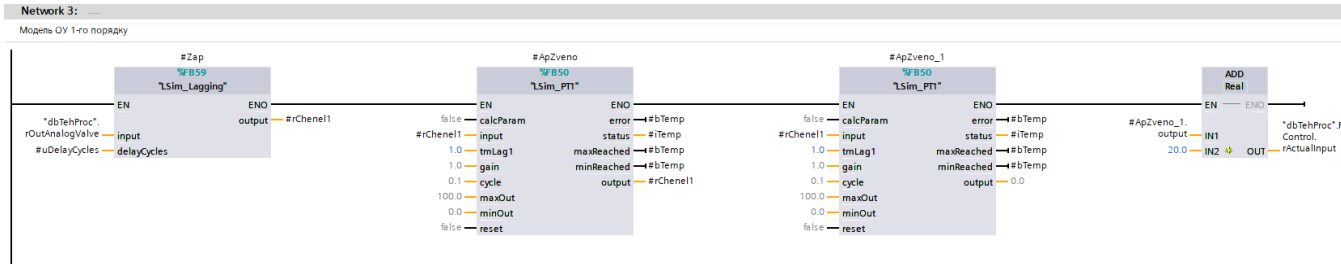


Рис.6.15– промодельоване звено запізнення за аперериодичне звено 1-го порядку

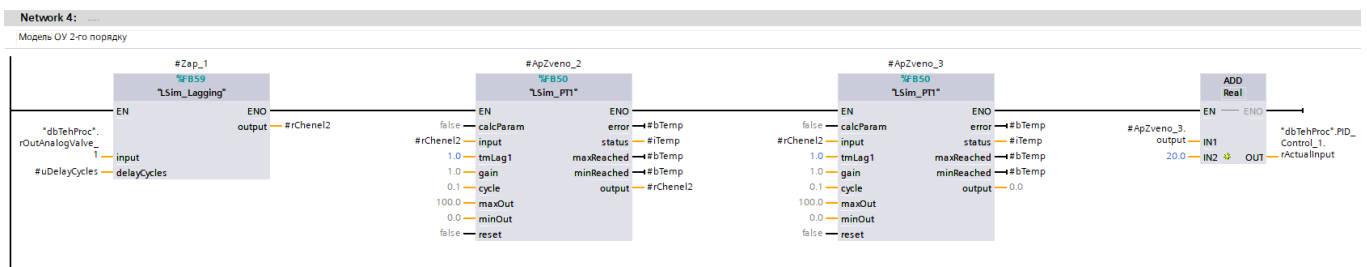


Рис.6.16 – Аперіодичне звено 2-го порядку та суматор

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

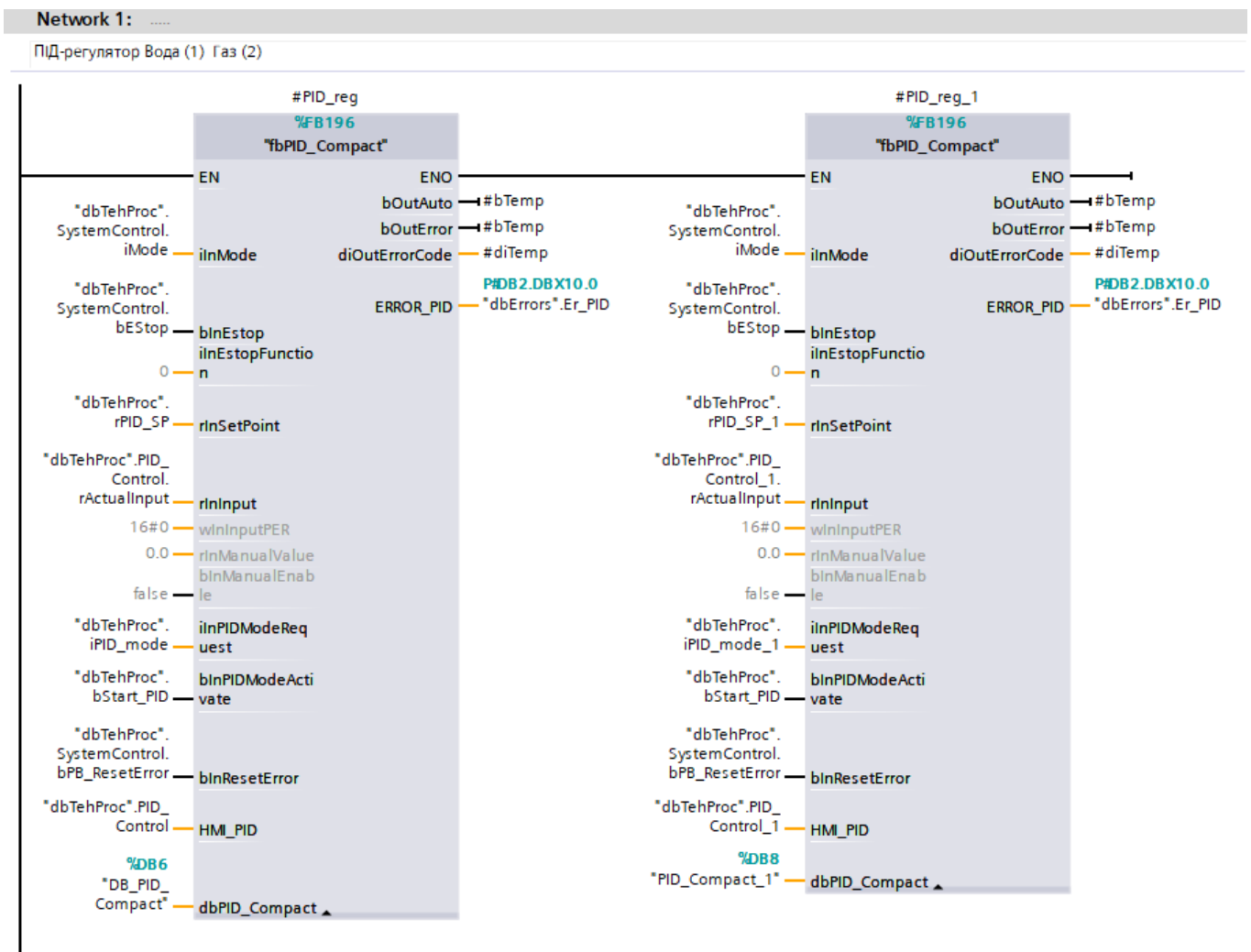


Рис.6.17– блок ПІД регулятор «fbPID_Compact»

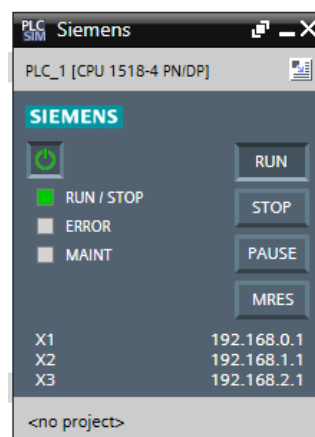


Рис.6.18– перевірка на працездатність

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.

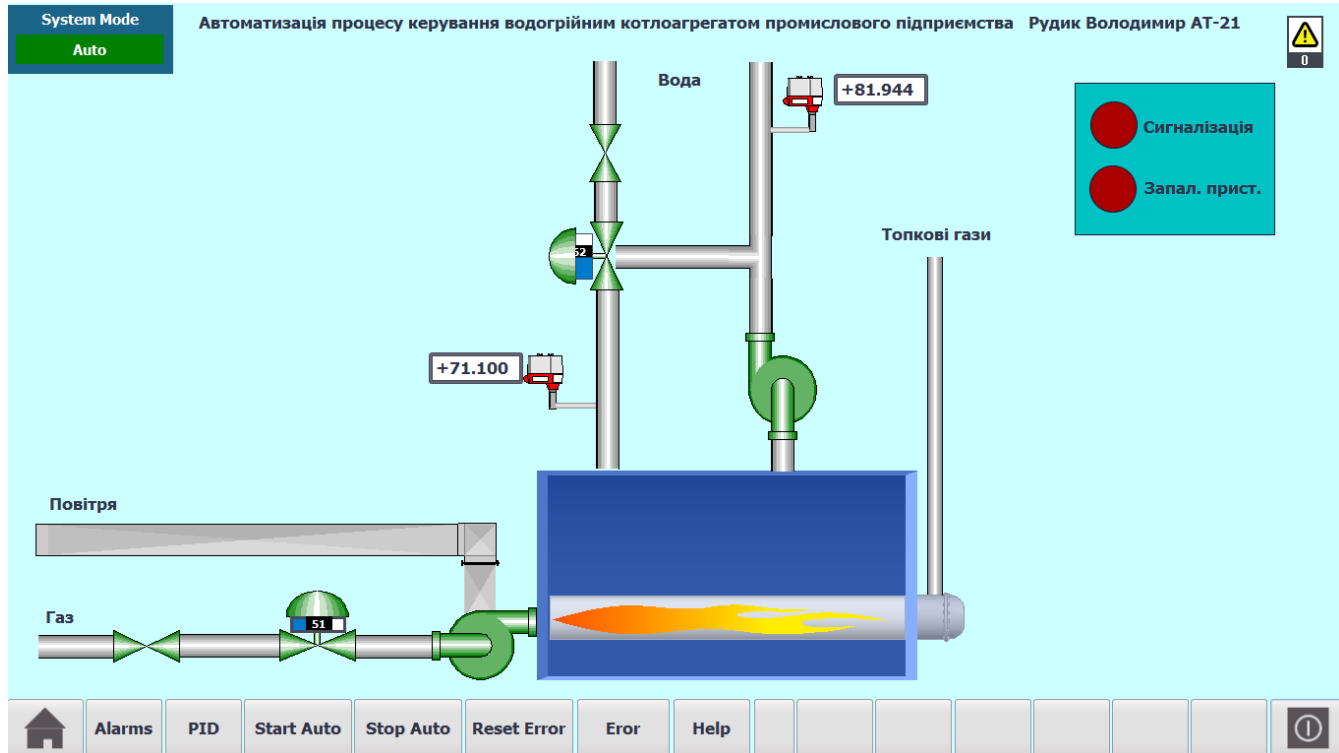


Рис.6.23– Головний екран АРМ

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

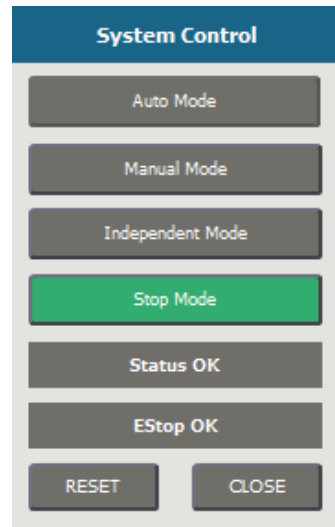


Рис.7.1– вибір режиму роботи

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)

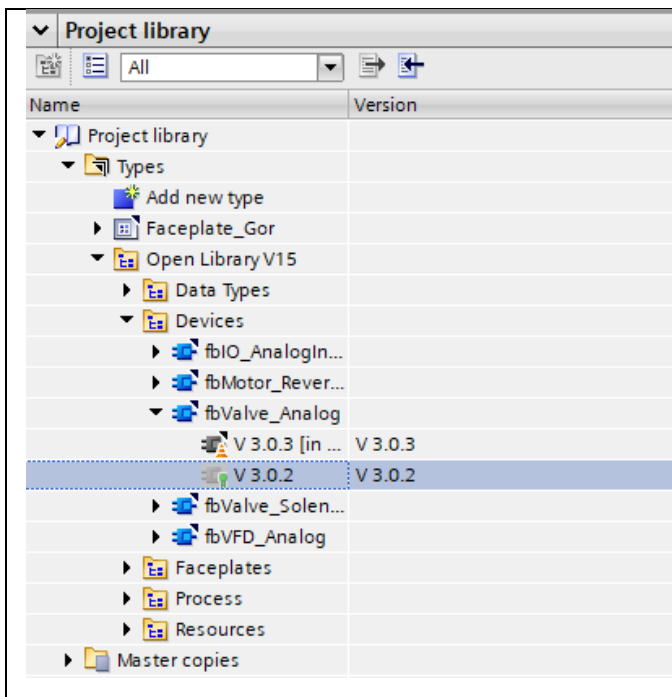


Рис.7.2– бібліотека компонентів функц.
Блоків

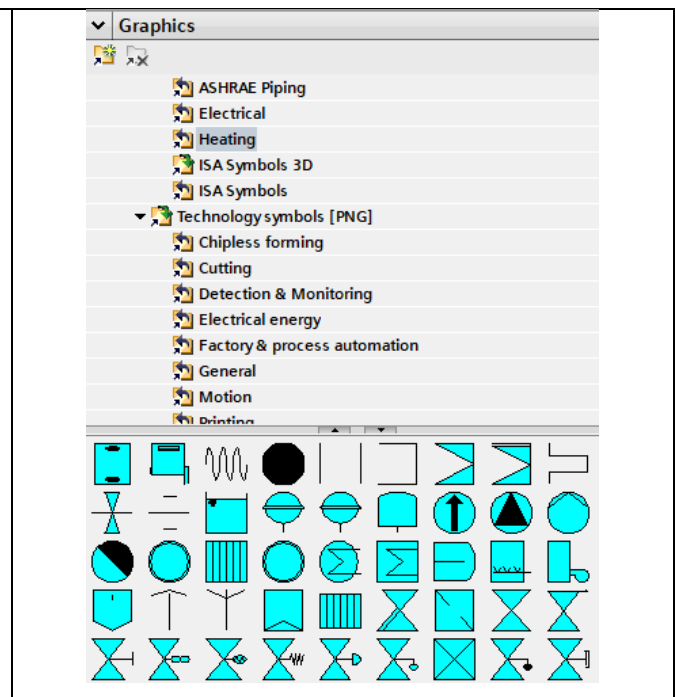


Рис.7.3– бібліотека стандартних
графічних компонентів

Конфігурування стандартних елементів з бібліотеки «ТІА Portal open Library V15» редставлена на наступних рисунках а саме іконки(icons) та впливаючі вікна (Pop-UP screens) 7.4-7.7

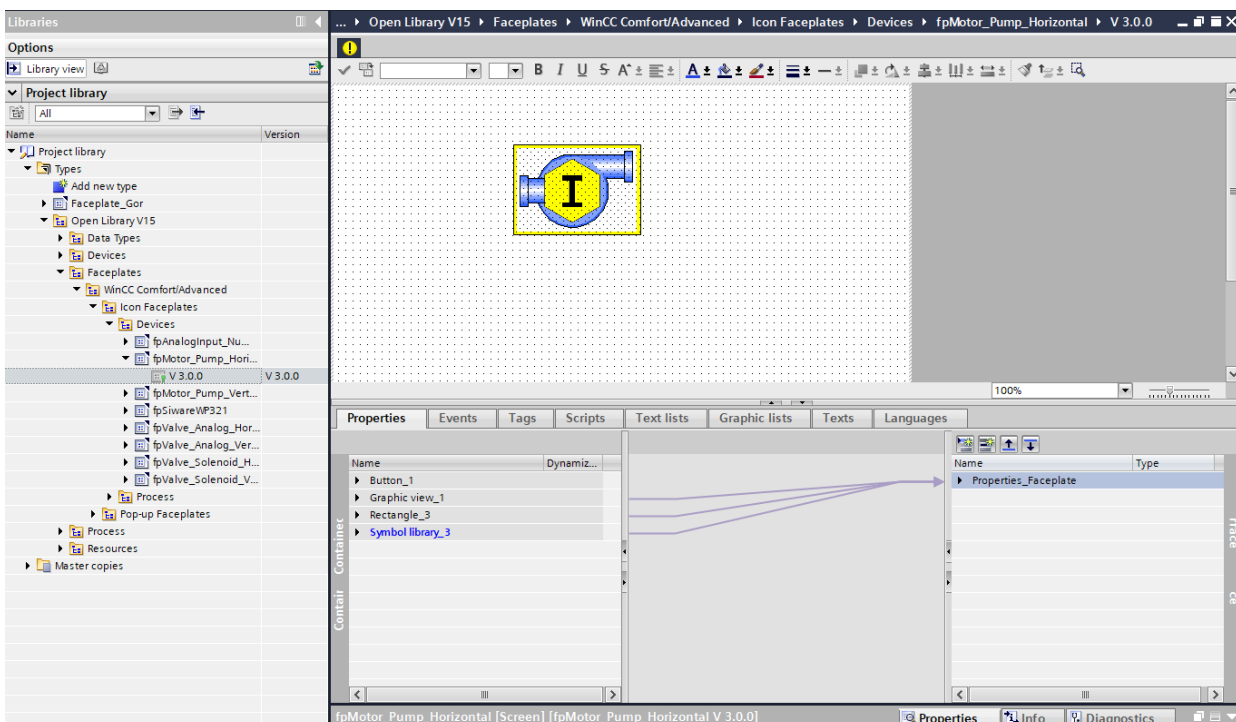


Рис.7.4– елемент «fpMotor_Pump» icons

Переносимо елемент з бібліотеки на екран АРМ та розташовуємо його вибираючи координати розташування рис 7.5

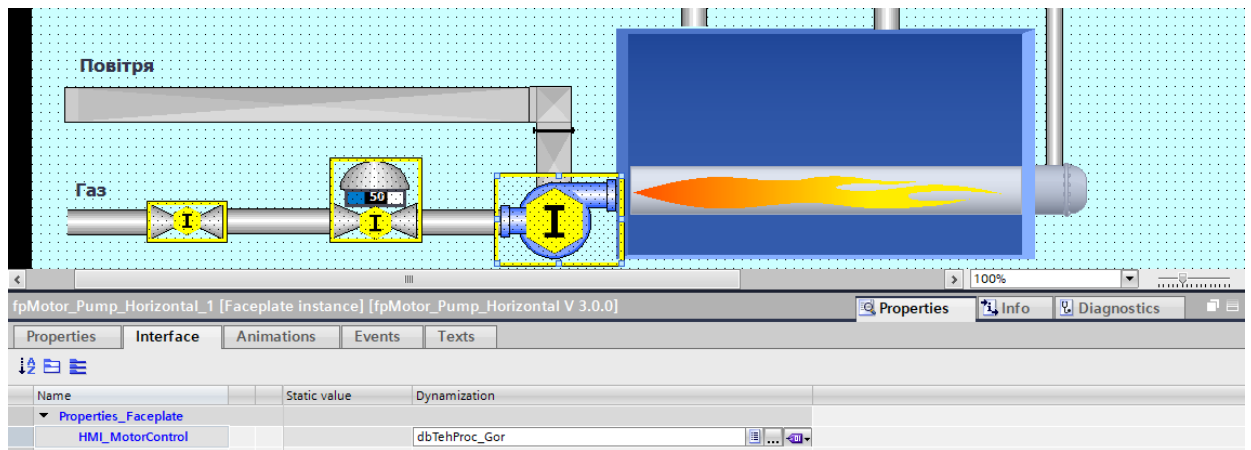


Рис.7.5– вибір координат розташування

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

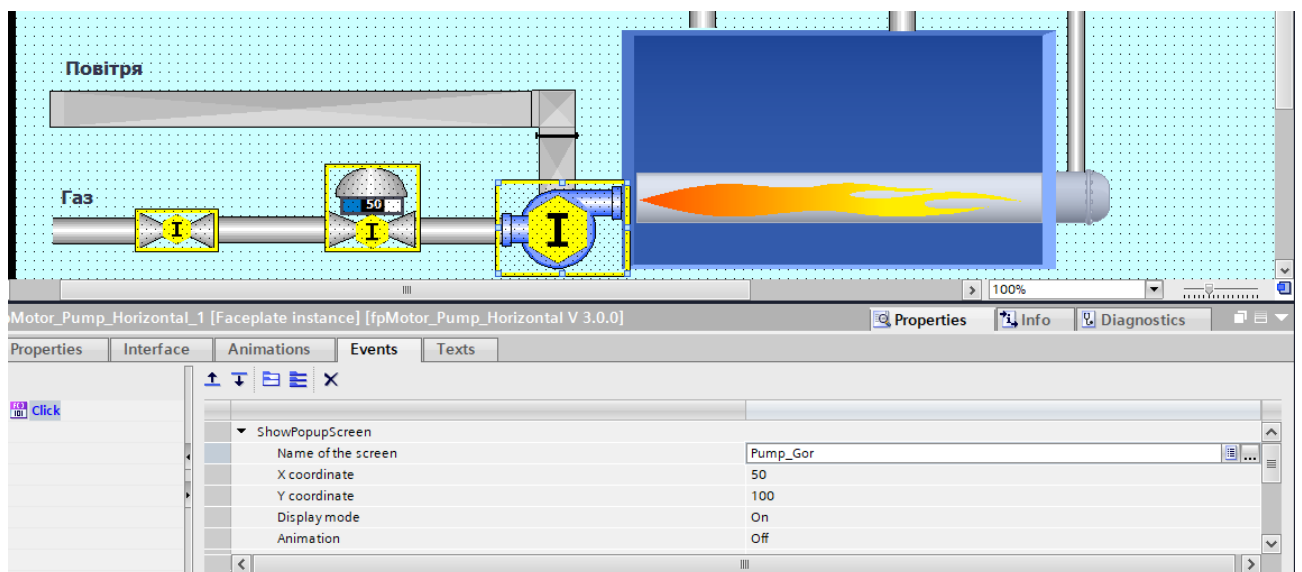


Рис.7.6– прив'язка елемента Pump до НМІ тегів

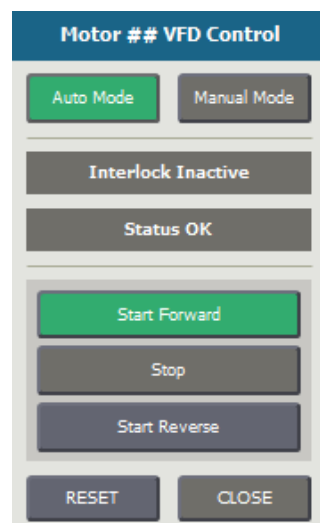


Рис.7.7– впливаюче вікно елемента «fpMotor_Pump»

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

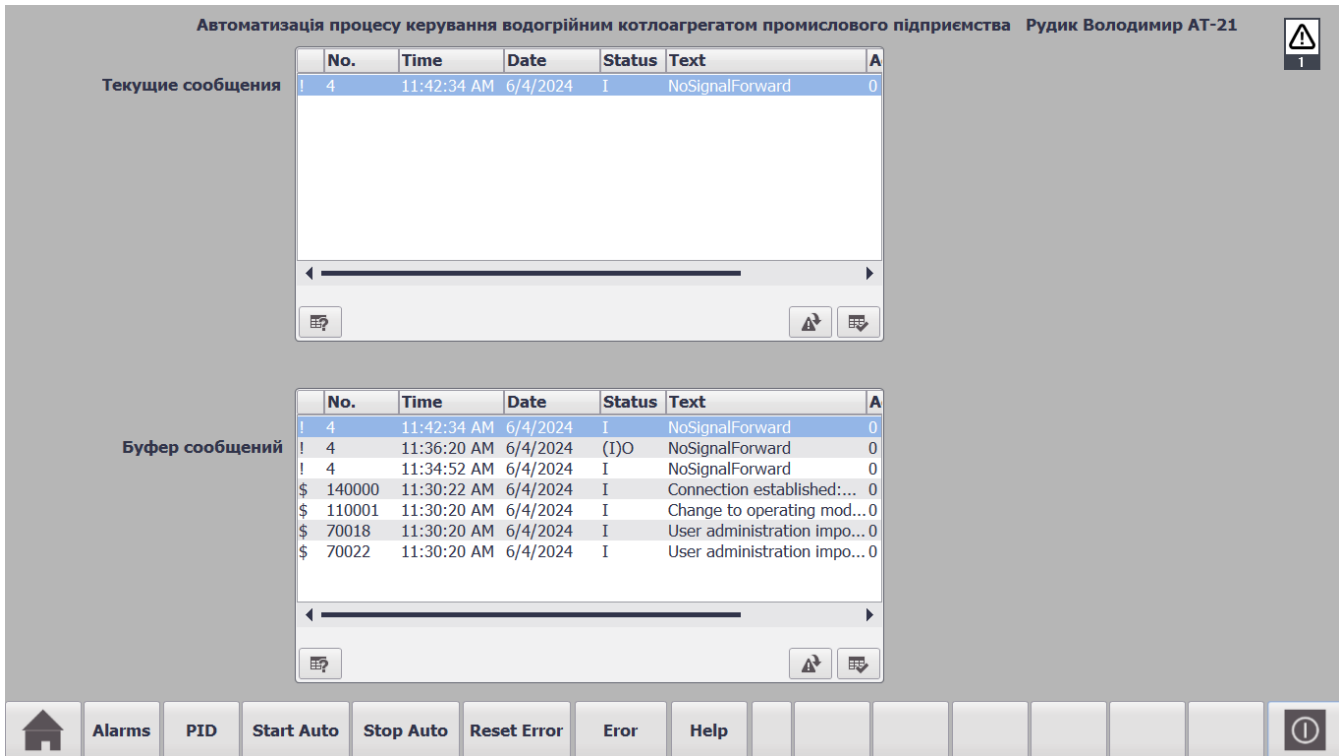


Рис.7.8– окно Alarms та реакція на помилку

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

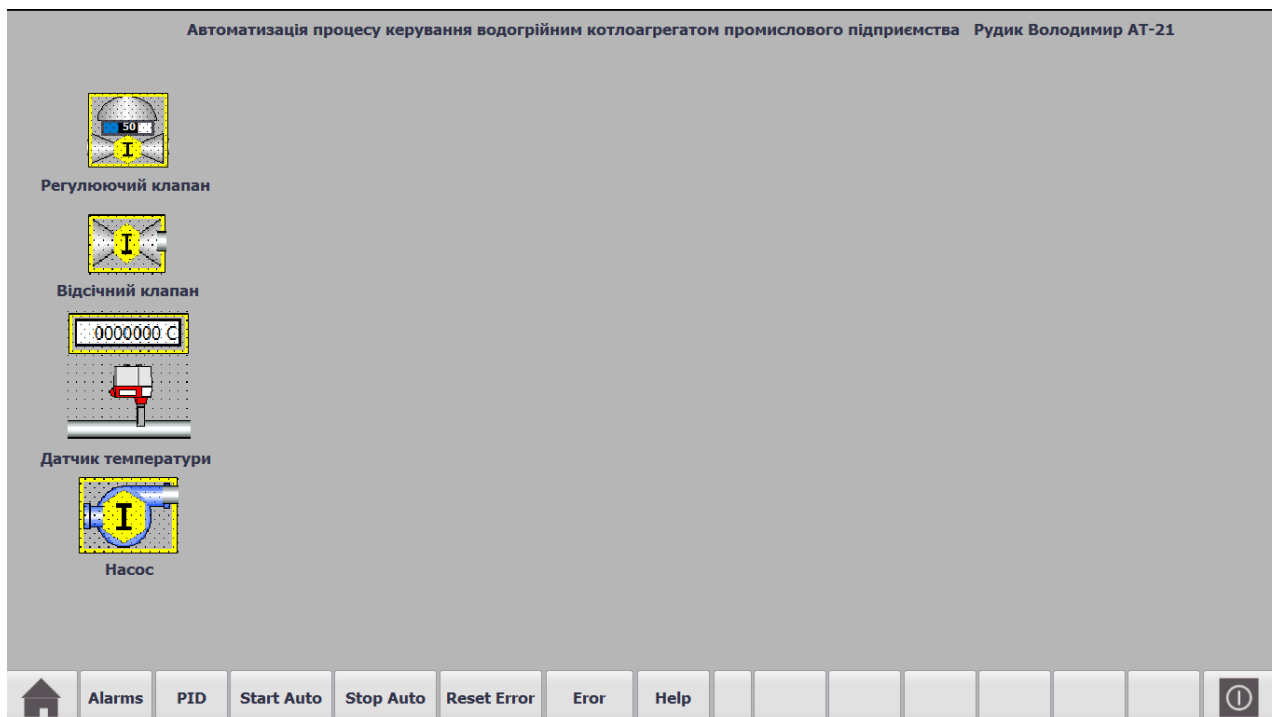


Рис.7.9– екран допомоги

Перевіряємо роботу програми в ручному режимі роботи

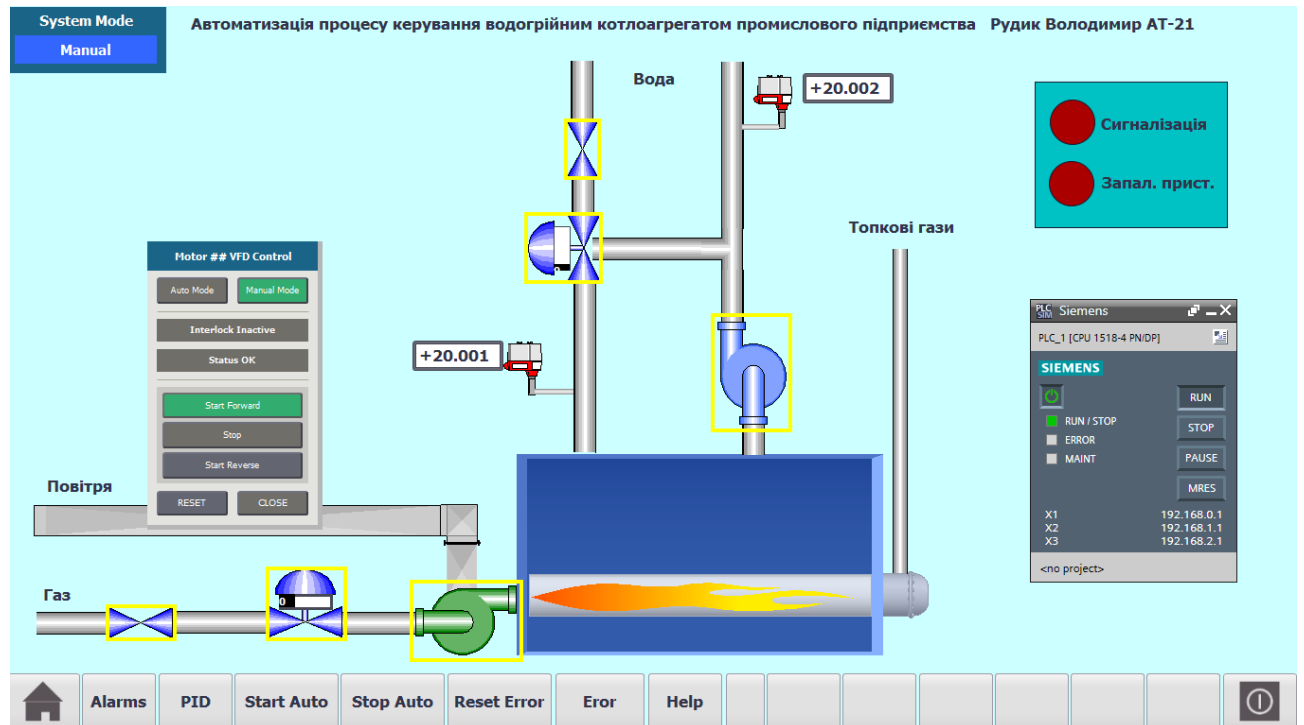


Рис.7.10– перевірка роботи

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.

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.

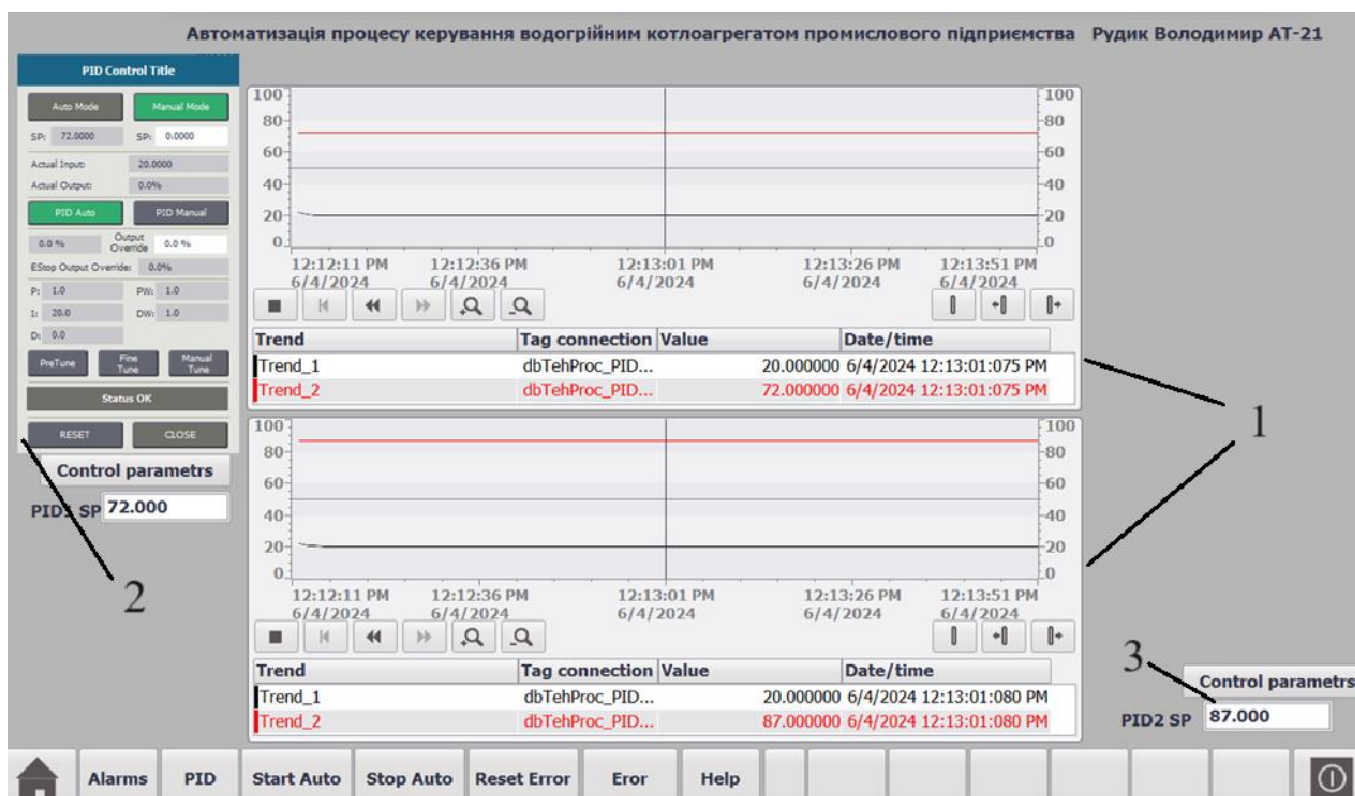


Рис.7.11– Екран наладчика САК

Для наладчика САК були розроблені наступні вкладки :

- 1- графіки перехідних процесів
- 2- екран для встановлювання параметрів ПД 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 «ТІА Portal open Library V15» Інтерфейс цього впливаючого вікна прив'язан до ШМІ тегів (рис 7.17)

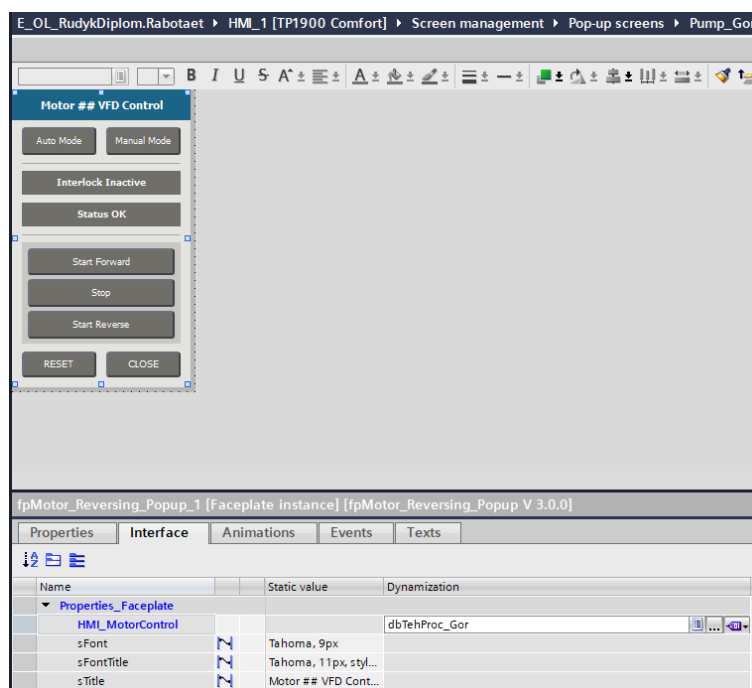


Рис.7.12– Екран налаштування ПІД регулятора

Встановлюємо елемент вводу-вивода заданого значення для параметрів технологічного процесу з бібліотеки «TIA Portal open Library V15» викликаємо ПІД елемент на рис 7.18 показана прив'язка до відповідного тегу.

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

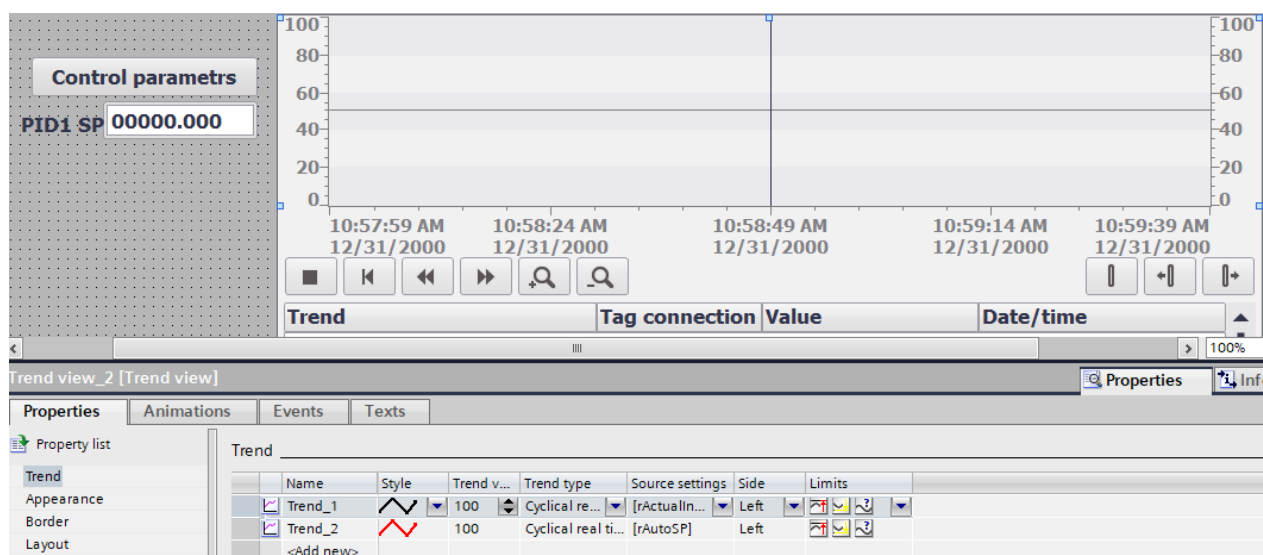


Рис.7.13– Окно для графіків та прив'язка до тегів

Висновки до розділу

При виконанні самостійної роботи в середовищі ТІА Portal розроблено програмне забезпечення АРМ оператора-технолога процесу керування водогрійним котлоагрегатом промислового підприємства. 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 водогрійний котлоагрегат. Це тепло-масо-обмінні процеси, які забезпечуються підведенням теплоносія(води) заданої температури: 72*С на вході та 87 на виході.

Я вибрав 2 щита: щит автоматики(SA) та силовий щит(SS) . В шафі автоматики розташовані модулі ввода-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 зовнішніх 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 контури:

- Контроль двигуна насоса подачі повітря до пальника М2 та М1 - двигун насоса подачі води
- Контур регулювання положення трьохходового клапана подачі повітря РВ1
- Контур регулювання положення трьохходового клапана подачі води РВ2

- Контроль та керування відсічного клапану повітря до пальника УА1
- Контроль та керування відсічного клапану води УА2
- Контроль тиску газу на вході до пальника М2
- Контроль витрати газу на вході до пальника М2
- Захист за наявності факела в топці
- Захист за підвищення та зниження рівня води у котлі
- Контроль температури води на вході до котла
- Контроль тиску води на вході до котла
- Контроль тиску води на виході з котла
- Контроль температури води на виході з котла
- Контроль тиску води на вході до користувача
- Контроль температури води на вході до користувача
- Захист за загазованості у приміщенні
- Сигналізація за аварійними параметрами
- Перетворення інтерфейсів

Розглянемо для прикладу функціонування контур регулювання температури котлового контуру. Температура води, яка надходить до котла від датчика 2а в вигляді нормованого сигналу потрапляє на аналоговий вхід контролеру, який видає керуючий сигнал ,що направляється на виконавчий механізм 2б

Креслення ФСА наведено в додатку А

8.3. Розробка принципів схем

Були розроблені наступні принципів схеми керування:

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

На принципів 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 входні 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 входів-виходів зображено комбінований модуль 4AI-2AO для неперервного керування регулюючим клапаном газу та 3-х ходовим клапаном з уніфікованим сигналом 0-10В.

На схемі підключень аналогових входів зображено підключення пристроїв для контролю та реєстрації процесу з 2-х провідною схемою підключення.

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 комплекту 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

CONSEPTLINE EMC 550x700 x200 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]. Перший лист креслення виконаний у масштабі 1:25 відображає вид на фасадну площину щита оператора. Другий лист креслення виконаний у масштабі 1:25 відображає 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 компонування робочого місця оператора-технолога

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

Тип проводки: двухжильний сигнальний кабель 1мм^{1.5} на 24в марки

Кабель управління екранований 2x1.5 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 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 підігрівання 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	25-32 °С	Стан втоми, перегрів або переохолодження організму
2	Підвищена або знижена рухливість	0,2-0,4 м/с	Простудні захворювання,

	повітря		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 перенавантаження 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

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 водогрійним котлоагрегатом промислового підприємства. 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 підігріву 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 – $C_{т}$;

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

Витрати на монтаж устаткування – $C_{м}$;

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.

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

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

$C_{опт}^б$ – оптова ціна базової техніки, грн.

$$IS_{перв}^б = 183000 + 183000 * 0,1 + (183000 * 0,25)/100 + (183000 * 5,0)/100 +$$

$$+ [183000 + (183000 * 0,25) / 100 + (183000 * 5,0) / 100] * 0,012 = 213\,218,8 \text{ тис}$$

грн.

При проведенні модернізації одиниці діючої техніки капітальні вкладення

розраховують укрупнено за формулою:

$$IC_{\text{мод}} = IC^{\text{б}}_{\text{перв}} * N_{\text{мод}} \quad (14.2)$$

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

$$IC_{\text{мод}} = 213\,218,8 \text{ тис грн.} * 0,1 = 21\,321,88 \text{ тис грн.}$$

$$IC_{\text{мод}}^{\text{н}} = 213\,218,8 \text{ тис грн} * 1,1 = 234\,540,68 \text{ тис. грн}$$

Нормативи розрахунків наведені в таблиці 9.1

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	$Ц_{\text{м}}$	-	0,1
Норматив відрахувань на тару й упаковання $Ц_{\text{опті}}$	$Ц_{\text{т}}$	%	0,25
Норматив відрахувань на транспортні видатки від $Ц_{\text{опті}}$	$Ц_{\text{тр}}$	%	5,0
Норматив відрахувань на заготовительно-складські видатки	$Ц_{\text{з-з}}$	%	1,2
Середня ціна 1т лома	$Ц_{\text{л}}$	Грн/т	200,0
Норматив витрат на демонтаж від $Ц_{\text{опті}}$		%	2
Нормативи розрахунку ліквідної вартості встаткування (від $IC_{\text{пер}}$)			
При списанні на лом	-	%	4
ри 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	60
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 прийнятої 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
7	Вартість 1 куба газу	грн./куб	6,2
8			
9	Податок на прибуток	%	18
10	Норматив річних амортизаційних відрахувань (прям. метод)	%	20
11	Податок на доходи фізичних осіб, військовий збір	%	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:

$$V_p = IC_{\text{перв}}^{(6)} * N_p,$$

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

не змінюються в процесі запровадження результатів дослідження.

Витрати пов'язані з амортизацією устаткування розраховують по формулі:

$$V_a = IC_{\text{перв}}^{(6)} * N_a.$$

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

Таблиця 9.3 Техніко-економічні показники обладнання

№ п/п	Показник	Познач	Од.вим.	Базова маш	Нова машина
1	Продуктивність	Пч	т/ч	1,0	1,175
2	Маса обладнання	М	кг	2500	2500
3	Габаритні розміри				
	довжина	Д	мм	1555	1555
	ширина	Ш	мм	1380	1380
	висота	В	мм	1930	1930
4	Мінімальна маса порції продукту	Vн	кг	-	-
5	Тривалість циклу	Чд	сек	-	-
6	Установлена потужність	Рэ	кВт	510	1350
8	Витрати води	Qводи	м ³ /Г	1,0	0,85
	Витрати газу	Qгазу	м ³ /Г	153,9	146,2
9	Опт. ціна обладнання	Цопт ^б	тс грн	-	-
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

$$OB^{(H)} = Поб * Фг * К загр,$$

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

Фг- годовой фонд времени работы оборудования, час

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

$$OB^6 = 1000 \text{ кг/год} * 8 * 60 * 0,95 = 456,0 \text{ т}$$

$$OB^H = 1175 \text{ кг/год} * 8 * 60 * 0,95 = 535,8 \text{ т}$$

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:

$$V_c = C_{c^{H(6)}} * OB^{6(H)},$$

$$V_c^6 = 5,5 * 456,0 = 2508,0 \text{ тис.грн.}$$

$$V_c^H = 5,5 * 535,8 = 2946,9 \text{ тис.грн.}$$

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

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

Витрати газу:

$$Z_r = C_r * Q_r * \Phi_r$$

$$Z_r^6 = 6,2 * 8 * 153,9 * 220 = 1\,679,36 \text{ тис. грн.}$$

$$Z_r^H = 6,2 * 8 * 146,2 * 220 = 1\,595,33 \text{ тис. грн.}$$

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.

$$Z_p = IC_{\text{перв}^{H(6)}} * N_p,$$

$$Z_p^6 = 213\,218,8 * 0,1 = 21,3 \text{ тис. грн.}$$

$$Z_p^H = 234\,540,68 * 0,1 = 23,5 \text{ тис. грн.}$$

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

Витрати пов'язані з амортизацією обладнання розраховуються за формулою :

$$Za = IC \text{ перв}^{(6)} * Нр. \quad (14,9)$$

$$Za^6 = 213\,218,8 * 0,24 = 51,2 \text{ тис. грн.}$$

$$Za^H = 234\,540,68 * 0,24 = 56,3 \text{ тис.грн.}$$

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. 9.4)

Таблиця 9.4 Зміна річних поточних витрат

№ п/п	Статті звитрат	Позн	Величина, тис грн		Відхилення + -збільше - зменшен
			До модер.	Після модер.	
1					
2	Витрати на газ	Зв	1 679, 36	1 595, 33	-84,0
2	Витрати на поточний капітальний ремонт	Зр	21,3	23,5	2,2
3	Витрати пов'язані з амортизацією	За	51,2	56,3	5,1
4	Всього поточних витр	З	1751,9	1675,1	-76,8

Розрахунок показників виробничої діяльності підприємства

Розрахунок обсягу виробництва продукції здійснюємо за формулою:

$$OB^{(H)} = Поб * Фр * К завант * Квиходу,$$

Де: Поб – фактична годинна продуктивність обладнання

Фр – річний фонд часу роботи обладнання, год

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

$$OB^H = 7,2 \text{ г/змін} * 8 * 220 * 0,95 = 12 \text{ кг}$$

$$OB^H = 12 \text{ кг} / 0,0004 = 30\,000 \text{ уп}$$

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

$$ТП^{б(н)} = OB^{б(н)} * Ц_{пр}$$

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

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

$$ТП^H = 30000 * 100 = 3\,000 \text{ тис. грн.}$$

$$\Delta TP = TP^H = 3\,000 \text{ тис. грн.}$$

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

$$C^H = TP^б * 100 / 100 + P$$

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

$$C^H = 3\,000 \text{ тис. грн.} * 100 / 122 = 2\,459 \text{ тис. грн.}$$

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

$$C^H = 2\,459 \text{ тис. грн.} - 76,8 = 2\,382$$

$$\Pi^{б(н)} = TP^{б(н)} - C^{б(н)}$$

$$\Pi^б = 3\,000 - 2\,459 = 541 \text{ тис. грн}$$

$$\Pi^H = 3\,000 - 2\,382 = 618 \text{ тис. грн}$$

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

$$\Delta \Pi = 618 - 541 = 76,8 \text{ (тис. грн.)}$$

$$\Delta \text{ЧП} = \Delta \Pi (1 - \Pi_{п}) = 76,8 * 0,82 = 62,9 \text{ (тис. грн.)}$$

Де: $\Pi_{п}$ – податок на прибуток (для виробничих підприємств на Україні рівняється 18%), у відносних одиницях – 0,18

Розраховані показники зводимо в табл. 9.5.

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		3 000	3 000
2	Повна собівартість продукції тис. грн.	С		2 459	2 382
3	Прибуток, тис. грн.	П		541	618
4	Чистий прибуток, тис. грн.	ЧП		443,6	506,8
5	ЧПД при коефіцієнт дисконтування (20%)	Кд		0,8333	0,8333
6	Чистий дисконтований прибуток	ЧПД		369,6	422,3

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.

$$\text{ЧПД} = \sum_{i=1}^n \frac{ДП_i}{(1+d)^i} - ІС$$

де

ІС – стартові інвестиції;

ДПі – 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.

$$\text{ЧПД} = 422,3 - 183 = 239,3 \text{ (тис. грн.)}$$

Один з найбільш використовуваних показників привабливості інвестиційного проекту є строк окупності інвестицій. Під строком окупності інвестицій COI 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:

$$\text{COI} = \frac{\text{ИС}}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{\text{ДПі}_i}{(1+d)^i} \right)_{\text{ср}}}$$

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

у розрахунках (місяць, квартал, рік) $422,3/5 = 84,46$ (тис. грн.)

$$\text{COI} = 183 / 84,46 = 2,16 \text{ року.}$$

Висновок у розділі

Пропонована зміна конструкції котлоагрегату Viessmann Vitoplex 200 sx2a 1600 kw, із застосуванням теоретичних розробок дійсного дослідження є доцільна, тому що строк окупності інвестицій становить менш одного року, а чистий дохід більше нуля.

Висновок

Аналіз технологічного підігріву води за допомогою котла показав, що концептуально процес можна представити двома регульованими координатами: регульованої координати доцільно обрати температуру внутрішнього контуру - T2 та зовнішнього контуру – T1

Було проведено ідентифікацію математичних моделей динаміки каналів ОК, вхідні дії яких доступні для цілеспрямованої зміни. В якості вихідних даних було використано результати активного експерименту. Усі канали ОК мають статичні властивості.

Отримано математичну модель неконтрольованих збурень, що діють на канал температури води, що приходить від користувача. Вихідні дані отримано за результатами пасивного експерименту. Ідентифікація проводилася методом типової статистичної ідентифікації. За умов процесу нагріву води кращою виявилася модель № 5.

Отримані математичні моделі було перевірено на відповідність експериментальним даним. Як показали результати перевірки, і моделі окремих каналів ОК, і повна модель каналів ОК в абсолютних величинах, і повна модель ОК за результатами імітаційного моделювання відповідають експериментальним даним. Модель неконтрольованих збурень відповідає результатам оцінювання математичної моделі цих .

Синтез САР проведено в два етапи. На першому етапі провели розрахунок налаштувань регулятора. На другому етапі було застосовано оптимальний параметричний синтез. В якості критерію використано інтегральний модульний критерій. В якості базового алгоритму регулювання будемо використовувати ПД-алгоритм. САР підвищеної динамічної точності є грубою. 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.

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 Мбiа,1997 (ГОСТ 21.101-93, МНТКС). Основні вимоги до робочої документації.
8. ДСТУ Б А.2.4-3-95. ДКУ Мбiа,1997 (ГОСТ 21.408-93, МНТКС). Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.
9. ДСТУ Б А.2.4-10-95. ДКУ Мбiа,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.
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 К схему підключення аналогових входів;
- Додаток Д принципову електричну схему живлення;
- Додаток Е таблицю внутрішньо-шитових з'єднань;
- Додаток Ж таблицю зовнішніх проводок;
- Додаток З Специфікація та технічні засоби автоматизації

Додаток 3 Специфікація та технічні засоби автоматизації

1	1а, 2а, 7а, 10а,12а,19а	Термометр ОВЕН 4...20 мА	ДТС105Е РТ100.0,5.60.МГ. G1/2.И.ЕХІ-Т6 [73Н] 8500	5
2	3а	Датчик тиску газу ОВЕН	ПД100І-ДІ0,1-871-0,5-ЕХІ 4421	1
3	5а	Датчик наявності факелу 4...20 мА	ФДС-03-С-Ех	1
4	6а	Датчик рівня поплавковий ОВЕН	ПДУ-1.2.700..50./15-Ех 1340	1
5	8а, 9а, 11а	Датчик тиску води ОВЕН 4...20 мА	ПД100-ДА1,0-175-0,5-ЕХ	3
6	4а	Датчик витрати газу DRG	МЗ(Л)	1
7	13а	Сигналізатор загазованості ОВЕН	ДЗ-1-СН4	1
8	2б	Електропривод трьохходового клапану Danfoss	AME 86-Ех 60 800	1
9	1в	Електропривод регулюючого клапану газу Danfoss	AME 86-Ех 60 800	1
10	-	Контроллер Siemens сру 1518-4 pn/dp	6ES7518-4AP00-0AB0	1
11	-	Модулі дискретних виходів	6ES7 522-1BF00-0AB0 DQ 8x24VDC/2A HF	1
12	-	Модулі дискретних входів	6ES7 521-1BH50 0AA0 DI 16x24VDC SRC BA	1
13	-	Комбінований модуль аналогових Вх./Вих.	6ES7 534-7QE00-0AB0 AI 4x U/I/RTD/TC/ AQ 2x U/I ST	1
14	-	Модуль аналогових входів	6ES7 531-7QD00 0AB0	2

			AI 4xU/I/RTD/TC ST	
15	-	Блок живлення 24в 60W	6EP1333-4BA00	1
16	21a	Перетворювач інтерфейсів		1