

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри ЕКТ

_____ Анатолій ОПАНАСЮК
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «магістр»
зі спеціальності 171 «Електроніка»
освітньо-професійної програми «Електронні системи та компоненти»
на тему:
АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛІННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ПІДГРІВУ ВОДИ

Здобувача групи ЕС.м-31 Кондратенко Олександра Андрійовича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник від університету,
доцент, доцент, к.т.н., Ольга БЕРЕЖНА

(підпис)

Керівник від підприємства, Директор
ТОВ «ЕСП «Преобразователь», Володимир АРБУЗОВ

(підпис)

Консультант з техніко-економічної частини,
доцент, к.е.н., доцент Олександр МАЦЕНКО

(підпис)

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет _____ електроніки та інформаційних технологій
Кафедра _____ електроніки і комп'ютерної техніки
Напрямок підготовки _____ 171 «Електроніка»
Освітня програма _____ Електронні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою Опанасюк А. С.

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

Кондратенко Олександра Андрійовича

1. Тема роботи Апаратно-програмний комплекс управління технологічним процесом підігріву води
затверджена наказом по університету «01» жовтня 2024 р. № 1003-VI.
2. Термін здачі студентом завершеної роботи 10.12.24
3. Вихідні дані до роботи: Розробити апаратно-програмний комплекс управління технологічним процесом підігріву води. Кількість котлів – 3.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити) 1) Огляд літератури та поставлення задачі роботи. 2) Науково-дослідна частина. 3) Розробка електронної системи з використанням отриманих результатів дослідження. 4) Техніко-економічна частина.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1) Схема електрична структурна. 2) Схема алгоритму. 3) Схема електрична функціональна. 4) Схема електрична принципова.

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи

Розділи	Консультанти	Завдання видав	Завдання прийняв
Техніко-економічна частина	Маценко О.М.		

7 Дата видачі завдання 04.11.2024

8 Керівник від університету _____

Бережна О.В.

9 Керівник від підприємства _____

Арбузов В.В.

10 Завдання прийняв до виконання

Кондратенко О.А.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Огляд літератури та постановка завдання проектування	04.11.24 – 09.11.24	
2	Науково-дослідна частина	10.11.24 – 15.11.24	
3	Розробка алгоритму функціонування та структурної схеми електронної системи	16.11.24 – 20.11.24	
4	Розробка функціональної схеми електронної системи	21.11.24 – 24.12.24	
5	Розробка схеми електричної принципової електронної системи	25.12.24 – 02.12.24	
6	Техніко-економічна частина	03.12.24 – 05.12.24	
8	Оформлення пояснювальної записки	06.12.24 – 08.12.24	
9	Оформлення графічного матеріалу	09.12.24 – 13.12.24	
10	Представлення роботи керівнику і отримання відгуку	14.12.24	
11	Представлення роботи кафедрі для отримання рецензії	15.12.24	

Керівник кваліфікаційної роботи від університету:

Бережна О.В.

Керівник кваліфікаційної роботи від підприємства:

Арбузов В.В.

Студент:

Кондратенко О.А.

" _____ " 2024 р.

РЕФЕРАТ

Записка: (115) сторінок, (53) рисунків, (13) таблиць, (28) джерел.

Тема роботи: «Апаратно-програмний комплекс управління технологічним процесом підігріву води»

Об'єктом розробки є система автоматизації управління технологічним процесом підігріву води на основі апаратно-програмного комплексу.

Мета роботи – розробка системи автоматичного контролю й регулювання параметрів підігріву води з використанням ПД-регуляторів та SCADA-системи.

Пояснювальна записка складається з семи розділів, вступу, висновків та додатків, що включають технічну документацію та результати моделювання.

У першому розділі проведено огляд сучасних систем автоматизації технологічних процесів, зокрема систем управління підігрівом води.

У другому розділі представлено результати науково-дослідної частини, що включає математичне моделювання динамічної системи регулювання температури та аналіз роботи ПД-регулятора для мінімізації перехідних процесів.

У третьому розділі розроблено алгоритм функціонування системи та структурну схему апаратно-програмного комплексу. Алгоритм враховує роботу ПД-регуляторів, датчиків температури та виконавчих механізмів.

У четвертому розділі розроблено функціональну схему системи, де детально описано призначення основних блоків: мікроконтролера, датчиків температури, електроприводів і комутаційного обладнання.

У п'ятому розділі представлено розробку принципової схеми апаратно-програмного комплексу.

У шостому розділі розглянуто програмне забезпечення для системи, що базується на SCADA-технологіях.

У сьомому розділі проведено техніко-економічний розрахунок системи, що включає оцінку вартості матеріалів, комплектуючих, трудових витрат та собівартості при серійному виробництві.

Ключові слова: апаратно-програмний комплекс, ПД-регулятор, SCADA-система, датчик температури, температурне регулювання, автоматизація, структурна схема, принципова схема.

ЗМІСТ

З А В Д А Н Н Я	4
ВСТУП	5
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ	6
1.1. Аналіз сучасних систем управління технологічними процесами	6
1.2. Аналіз сучасних підходів до управління підігрівом води	9
1.3. Огляд систем на базі IoT.....	12
1.4 Програмне забезпечення для автоматизації	16
1.5 Постанова завдання	17
2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	18
2.1 Математичні моделі лінійних систем автоматичного управління.....	18
2.2 Класифікація систем автоматичного управління.....	19
2.3 Часові показники якості роботи автоматичних систем	22
2.4 Визначення передаточної функції автоматичної системи	23
2.5. Астатичні системи автоматичного керування.....	25
2.6 Визначення вимог при побудові автоматичної системи керування технологічним процесом підігріву води	26
2.7 Моделювання процесу регулювання процесу керування технологічним процесом підігріву води контура в інтегрованому середовищі розробки SCADA системи Trace Mode 6	27
2.8 Програмна реалізація системи управління	35
3. РОЗРОБЛЕННЯ АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ.....	38
3.1 Алгоритм функціонування системи.....	38
3.2 Структурна схема системи.....	42
4. РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ	45
5. РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИЦИПОВОЇ ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ.....	48
6. РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ	81
7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	97
ВИСНОВКИ.....	108
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	111
ДОДАТОК А.....	113

					<i>ЕлІТ 8.171.00.10.159 ПЗ</i>		
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Кондратенко О.А.			Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Бережна О.В.				4	115
Т.Контр					СумДУ, гр. ЕС.м-31		
Н. Контр.		Гапич В.М.					
Затверд.		Опанасюк А.С.					
Апаратно-програмний комплекс управління процесом підігріву води							
Пояснювальна записка							

ВСТУП

Сучасний розвиток промислових технологій вимагає створення ефективних систем управління, що дозволяють автоматизувати складні технологічні процеси. Одним із ключових напрямків є автоматизація систем підігріву води, які широко застосовуються у промисловості, комунальному господарстві та енергетиці. Підвищення енергоефективності, забезпечення стабільності процесів та зниження операційних витрат є основними завданнями, які вирішуються за допомогою апаратно-програмних комплексів.

Апаратно-програмний комплекс управління технологічним процесом підігріву води поєднує у собі програмні рішення та апаратні засоби для моніторингу, контролю й оптимізації роботи системи. Основними компонентами таких систем є датчики температури, тиску та витрат, контролери, виконавчі механізми (наприклад, клапани та електроприводи), а також програмне забезпечення для обробки та візуалізації даних.

Застосування ПІД-регуляторів у процесі керування дозволяє забезпечити точне підтримання необхідної температури та стабільність системи навіть у випадку зовнішніх збурень. Важливу роль відіграє також інтеграція SCADA-систем, які надають операторам можливість дистанційного моніторингу та управління процесом у реальному часі, що значно підвищує надійність та безпеку функціонування обладнання.

Актуальність теми обумовлена необхідністю розробки енергоефективних і надійних систем управління, здатних адаптуватися до змінних умов роботи. Збільшення вимог до ефективності виробничих процесів, зокрема у системах теплопостачання, робить апаратно-програмні комплекси незамінним елементом сучасної інженерії.

					<i>ELIT 8.171.00.10.159 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1. Аналіз сучасних систем управління технологічними процесами

Сучасні системи управління технологічними процесами стали ключовим елементом у багатьох галузях промисловості. Їхнє впровадження дозволяє досягти високої точності у виконанні завдань, знизити витрати на обслуговування обладнання та забезпечити стабільність роботи. У контексті котельень, автоматизація дозволяє ефективно регулювати параметри теплоносія, зменшувати споживання палива та покращувати безпеку роботи обладнання.

1. Традиційні системи управління

Традиційні системи управління базуються на використанні релейно-контакторних схем. Вони залишаються популярними у невеликих котельнях завдяки низькій вартості та простоті обслуговування. Основним принципом їх роботи є виконання наперед заданих алгоритмів, які реалізуються за допомогою механічних або електромеханічних компонентів.

Проте традиційні системи мають суттєві недоліки:

- Жорстка логіка: Кожна зміна у технологічному процесі потребує внесення коригувань у схему, що ускладнює адаптацію до нових умов.
- Обмежена функціональність: Такі системи не забезпечують збирання та аналіз даних, що обмежує їхню ефективність у складних процесах.
- Відсутність дистанційного доступу: Контроль за параметрами можливий лише на місці, що знижує зручність для оператора.

У невеликих котельнях традиційні системи все ще мають попит, оскільки їхнє впровадження не потребує значних інвестицій. Водночас для великих об'єктів із високими вимогами до автоматизації вони стають застарілими.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		6

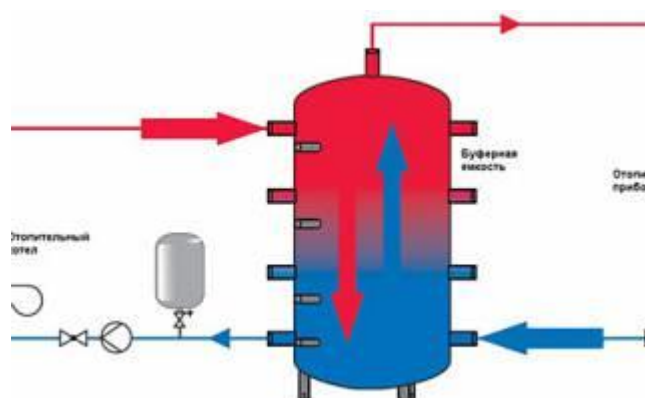


Рисунок 1.1 – Блок-схема традиційної системи управління

2. Інтелектуальні системи управління

Розвиток електроніки та програмного забезпечення призвів до появи інтелектуальних систем управління, які стали більш ефективною альтернативою традиційним рішенням. Такі системи базуються на програмованих логічних контролерах (ПЛК) і мікропроцесорних пристроях. Їхньою ключовою перевагою є можливість адаптації до змін умов роботи, інтеграції з іншими системами та виконання складних алгоритмів.

Інтелектуальні системи мають такі особливості:

- Автоматизація: Система самостійно контролює параметри, такі як температура і тиск, регулюючи роботу насосів, пальників або клапанів.
- Збирання даних: Інтелектуальні системи здатні зберігати інформацію про всі технологічні процеси, що дозволяє аналізувати їхню ефективність.
- Дистанційний доступ: Оператори можуть керувати роботою котельні з віддаленого пункту через комп'ютер чи смартфон.

Попри значні переваги, інтелектуальні системи потребують більших початкових інвестицій. Водночас їхнє впровадження вимагає спеціалізованих знань для налаштування та обслуговування.



Рисунок 1.2 – Блок-схема інтелектуальної системи управління

3. Порівняння традиційних та інтелектуальних систем

Традиційні системи підходять для малих котелень із простими технологічними процесами. Натомість інтелектуальні системи знаходять своє застосування у великих об'єктах із підвищеними вимогами до автоматизації. Для наочного порівняння наведено таблицю:

Таблиця 1.1 – Порівняння традиційних та інтелектуальних систем управління

Характеристика	Традиційні системи	Інтелектуальні системи
Тип управління	Жорстка логіка	Гнучка логіка
Енергоефективність	Середня	Висока
Вартість впровадження	Низька	Середня/Висока
Інтеграція з іншими системами	Відсутня	Підтримується

4. Сучасні тенденції у сфері автоматизації

Однією з найбільш перспективних тенденцій є впровадження систем на базі Інтернету речей (IoT). Ця технологія дозволяє об'єднати всі компоненти

котельні в єдину мережу, забезпечуючи моніторинг і управління через інтернет. Інтеграція IoT із SCADA-системами дозволяє реалізувати повний контроль за технологічними процесами, об'єднавши переваги локального управління з дистанційним моніторингом.

Такі системи вже активно використовуються у великих промислових котельнях. Наприклад, компанії в Україні застосовують IoT для автоматичного регулювання параметрів теплоносія залежно від погодних умов. Це дозволяє суттєво економити енергоресурси та забезпечувати стабільну роботу системи навіть у критичних умовах.

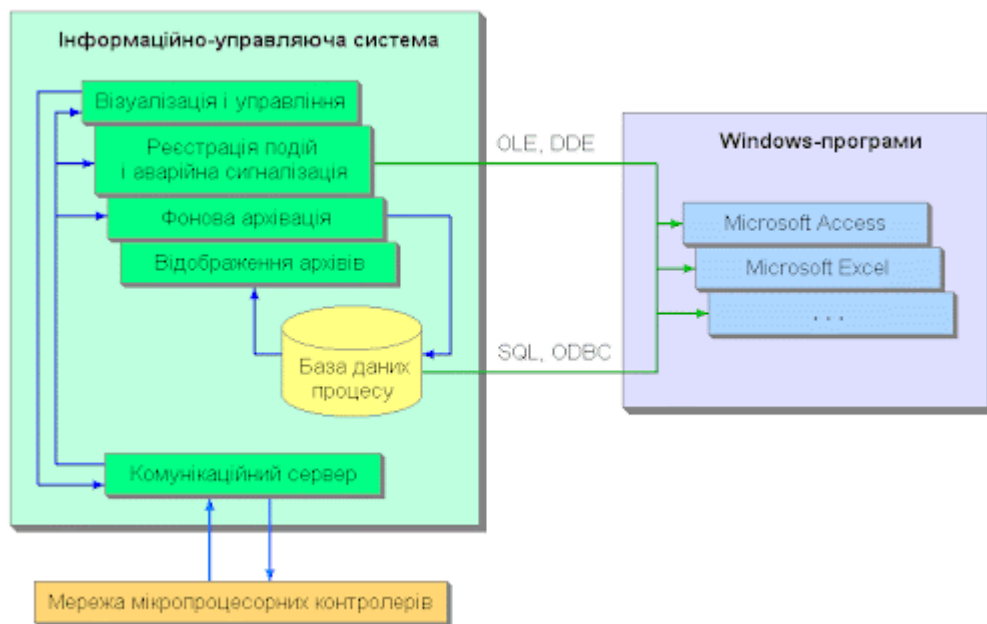


Рисунок 1.3 – Схема інтеграції IoT та SCADA у котельнях

1.2. Аналіз сучасних підходів до управління підігрівом води

Процес підігріву води є одним із ключових аспектів у роботі котелень та систем теплопостачання. Управління цим процесом вимагає високої точності, ефективності й адаптивності до змін у технологічному циклі. Сучасні підходи до управління підігрівом води базуються на інтеграції інноваційних технологій, таких як автоматизовані системи управління (АСУ), IoT, штучний інтелект (AI) та адаптивні алгоритми.

Традиційні методи управління

Традиційні підходи до управління підігрівом води базуються на використанні механічних регуляторів та релейно-контакторної техніки. Ці системи дозволяють підтримувати стабільну температуру за допомогою простих алгоритмів регулювання, але мають суттєві недоліки:

- Обмежена гнучкість: Внесення змін у параметри роботи потребує фізичного втручання у систему.
- Відсутність моніторингу: Традиційні системи не забезпечують збору даних про роботу обладнання.
- Підвищені енерговитрати: Через відсутність точного регулювання системи часто працюють із надмірними витратами енергії.

Незважаючи на ці обмеження, традиційні методи все ще застосовуються у невеликих об'єктах із мінімальними вимогами до автоматизації.

Сучасні підходи

Сучасні системи управління підігрівом води засновані на використанні програмованих логічних контролерів (ПЛК), IoT-рішень і SCADA-систем. Ці технології дозволяють автоматизувати процес управління, знижуючи вплив людського фактора і забезпечуючи високий рівень адаптивності.

Автоматизовані системи управління (АСУ). Ці системи базуються на ПЛК, які виконують алгоритми регулювання в реальному часі. Завдяки високій швидкодії ПЛК здатні оперативно реагувати на зміни параметрів теплоносія, забезпечуючи точне підтримання температури.

IoT-рішення. IoT дозволяє інтегрувати всі компоненти системи в єдину мережу, забезпечуючи віддалений контроль і моніторинг. Наприклад, IoT-датчики можуть фіксувати температуру на різних етапах підігріву та передавати дані до серверів для аналізу.

SCADA-системи. Вони забезпечують візуалізацію процесу підігріву води, надаючи операторам доступ до всіх параметрів у реальному часі. SCADA дозволяє здійснювати централізоване управління та аналізувати історичні дані.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

Переваги сучасних підходів

Сучасні технології управління підігрівом води мають низку переваг, які роблять їх незамінними у великих промислових та комерційних об'єктах:

- **Ефективність:** Завдяки точному регулюванню витрати енергії знижуються на 10–30% порівняно з традиційними методами.
- **Адаптивність:** Системи можуть автоматично змінювати режим роботи залежно від зовнішніх умов, таких як температура повітря або графік споживання тепла.
- **Моніторинг:** Можливість отримувати дані про роботу системи в реальному часі дозволяє швидко реагувати на відхилення та запобігати аваріям.

Інтеграція з відновлюваними джерелами енергії

Один із сучасних напрямків розвитку — використання відновлюваних джерел енергії для підігріву води. Наприклад:

- **Сонячні колектори.** Використовуються для попереднього підігріву води, що дозволяє знизити навантаження на основні котли.
- **Теплові насоси.** Забезпечують енергоефективний підігрів води за рахунок використання низькотемпературних джерел тепла.

Інтеграція відновлюваних джерел із сучасними системами управління дозволяє досягти високої ефективності та екологічності.

Перспективи розвитку

Одним із найважливіших напрямків розвитку є впровадження штучного інтелекту (AI) та машинного навчання (ML) у процес управління підігрівом води. Ці технології здатні аналізувати величезні обсяги даних, зібраних датчиками, та прогнозувати поведінку системи в майбутньому. Наприклад, алгоритми машинного навчання можуть оцінювати сезонні коливання попиту на теплоносій і адаптувати роботу системи для забезпечення оптимальної продуктивності при мінімальних витратах енергії. Також AI може автоматично визначати оптимальні параметри для роботи обладнання, враховуючи фактори, які складно врахувати людині, такі як якість води або знос компонентів.

									Арк.
									11
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ				

Іншим перспективним напрямком є створення гібридних систем, які поєднують традиційні джерела енергії з відновлюваними. Наприклад, у системах із тепловими насосами можна використовувати IoT для інтеграції з сонячними колекторами, що забезпечує оптимальне поєднання джерел тепла залежно від умов. У години пікового споживання система може перемикатися на використання основних котлів, тоді як у періоди низького попиту активніше використовуватимуться поновлювані джерела. Така адаптивність дозволяє значно знизити споживання традиційних енергоносіїв і зменшити викиди парникових газів.

Ще однією важливою перспективою є розвиток розумних датчиків із підвищеною точністю та функцією самодіагностики. Такі датчики здатні виявляти навіть найменші відхилення в параметрах теплоносія, що дає змогу миттєво реагувати на зміни у роботі системи. У поєднанні з хмарними обчисленнями вони можуть забезпечувати централізований моніторинг кількох об'єктів одночасно, що особливо важливо для великих компаній, які обслуговують розгалужені тепломережі.

Розвиток сучасних технологій також передбачає активне впровадження алгоритмів оптимізації для зниження витрат. Наприклад, технології прогнозування погодних умов можуть бути інтегровані в системи управління котельнями, щоб завчасно коригувати параметри підігріву води. Це дозволить зменшити тепловтрати у періоди зниження зовнішньої температури або підготуватися до пікових навантажень.

Таким чином, перспективи розвитку управління підігрівом води спрямовані на підвищення ефективності, екологічності та адаптивності систем, що забезпечить стабільну роботу обладнання та зниження експлуатаційних витрат у довгостроковій перспективі.

1.3. Огляд систем на базі IoT

Інтернет речей (IoT) є інноваційною технологією, яка змінює підходи до автоматизації технологічних процесів. IoT-системи забезпечують інтеграцію обладнання, контрольних пристроїв і користувачьких інтерфейсів у єдину мережу, що дозволяє здійснювати моніторинг та управління в реальному часі.

					<i>ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

У котельнях впровадження IoT сприяє оптимізації енерговитрат, підвищенню ефективності роботи систем і зменшенню ризиків аварійних ситуацій.

Концепція IoT у котельнях

IoT-системи в котельнях побудовані на базі кількох ключових компонентів:

- Датчики. Ці пристрої фіксують параметри теплоносія, зокрема температуру, тиск і витрати. Вони встановлюються у ключових точках котельні, що дозволяє відстежувати стан системи на всіх етапах роботи.
- Шлюзи IoT. Дані з усіх датчиків передаються через шлюзи до серверів або хмарних платформ для обробки. Шлюзи виконують функцію координатора, забезпечуючи з'єднання між локальними пристроями та віддаленими системами.
- Сервери та хмарні платформи. Інформація, зібрана датчиками, зберігається й аналізується на серверах. Хмарні рішення надають можливість доступу до даних з будь-якої точки світу, що є особливо зручним для віддалених котелень.
- Інтерфейс користувача. Це програмне забезпечення, яке дозволяє операторам контролювати роботу котельні. Інтерфейси створюються у вигляді веб-додатків або мобільних програм із візуалізацією параметрів.

Переваги IoT у котельнях

IoT-системи відкривають нові можливості для автоматизації котелень, забезпечуючи:

- Дистанційне управління: Оператор має змогу стежити за параметрами системи та змінювати налаштування через інтернет. Це дозволяє значно знизити витрати на обслуговування, особливо в регіонах із важкодоступними об'єктами.
- Економію енергії: IoT автоматизує процеси регулювання тепла, зменшуючи втрати енергії. Наприклад, у години низького споживання система може автоматично знижувати потужність котлів.
- Прогнозування несправностей: Дані, зібрані IoT-системою, дозволяють виявляти відхилення в роботі обладнання, запобігаючи серйозним збоям. Це забезпечує підвищення надійності системи.

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.159 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

- Оптимізацію технічного обслуговування: Завдяки аналізу даних система генерує звіти про стан обладнання, що дозволяє уникнути зайвих перевірок і вчасно виявляти зношені компоненти.

Реальні приклади використання IoT

IoT активно застосовується у котельнях великих промислових підприємств, житлових комплексів та комерційних будівель. Наприклад:

- Централізоване опалення: IoT-системи дозволяють регулювати потужність котлів залежно від зовнішньої температури. Це сприяє рівномірному розподілу тепла і зниженню витрат палива.
- Промислові котельні: IoT використовується для контролю роботи насосів, клапанів і пальників. Система автоматично реагує на зміну параметрів, забезпечуючи стабільність роботи.
- Резервні системи: У критичних умовах IoT-системи можуть забезпечувати автоматичний запуск резервного обладнання, що мінімізує вплив аварій.



Рисунок 1.4 – Графік енергоспоживання IoT-системи

Виклики впровадження IoT

Попри численні переваги, впровадження IoT у котельнях супроводжується певними викликами:

					<i>ELIT 8.171.00.10.159 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		14

- Стабільність інтернет-з'єднання. У віддалених регіонах недостатня якість зв'язку може ускладнювати роботу системи.
- Кібербезпека. Оскільки дані передаються через інтернет, система стає вразливою до атак. Для захисту необхідно використовувати багаторівневі механізми шифрування.
- Високі початкові витрати. Установка датчиків, шлюзів і серверів вимагає значних фінансових вкладень, які окупаються тривалим використанням.

Інтеграція IoT із SCADA-системами

Комбінування IoT із SCADA дає змогу створити комплексні системи управління котельнями. SCADA забезпечує візуалізацію процесів і контроль у реальному часі, тоді як IoT додає можливість аналізу великих обсягів даних і дистанційного моніторингу. Це дозволяє досягти більшої ефективності та стабільності роботи системи.

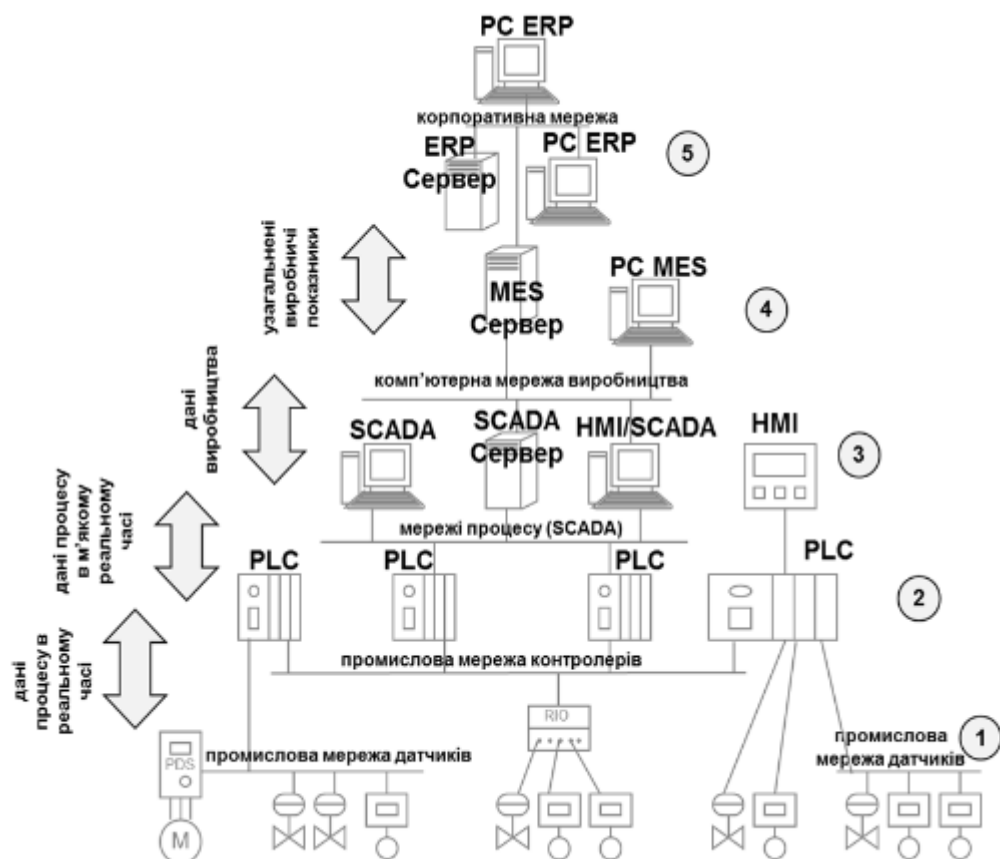


Рисунок 1.5 – Інтеграція IoT та SCADA у котельнях

Перспективи розвитку IoT

Подальший розвиток IoT у системах управління котельнями пов'язаний із впровадженням штучного інтелекту (AI) та машинного навчання (ML). Завдяки цим технологіям система зможе не лише реагувати на поточні зміни в параметрах, але й прогнозувати майбутні події.

Наприклад, алгоритми ML можуть аналізувати історичні дані про роботу котельні, щоб виявляти закономірності та передбачати несправності або пікові навантаження.

Це дозволяє уникнути збоїв і забезпечити стабільність роботи системи навіть за критичних умов.

Ще одним перспективним напрямком є використання розумних датчиків з підвищеною точністю вимірювань і функцією самодіагностики. Такі пристрої можуть автономно визначати, чи працюють вони коректно, і надсилати відповідні сигнали оператору. Це значно підвищує надійність роботи всієї системи, особливо в об'єктах із високими вимогами до безпеки.

Інтеграція IoT із поновлюваними джерелами енергії, такими як сонячні панелі чи теплові насоси, є ще одним перспективним напрямком. Наприклад, система може автоматично перемикатися на альтернативне джерело енергії в години пікового споживання, що дозволяє зменшити навантаження на основне обладнання та знизити витрати на енергоносії. У майбутньому це може призвести до створення повністю автономних енергоефективних котелень, які працюватимуть із мінімальним втручанням людини.

Таким чином, розвиток IoT спрямований на створення більш гнучких, адаптивних і екологічно чистих систем управління, які забезпечуватимуть високу ефективність роботи та безпеку. Ці інновації відкривають нові можливості для оптимізації енерговитрат, зниження експлуатаційних витрат та покращення якості обслуговування споживачів тепла.

1.4 Програмне забезпечення для автоматизації

Програмне забезпечення (ПЗ) є центральним елементом сучасних систем автоматизації, що дозволяє інтегрувати апаратні компоненти, забезпечувати моніторинг, управління та аналіз даних у реальному часі. У

					ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

системах підігріву води ПЗ виконує функцію інтелектуального ядра, яке забезпечує адаптивність, стабільність і ефективність роботи.

Основні завдання ПЗ включають збір і обробку даних із датчиків, відображення параметрів на інтуїтивно зрозумілому графічному інтерфейсі, регулювання роботи виконавчих механізмів залежно від змін умов і прогнозування потенційних несправностей. Інтеграція з IoT і SCADA дає змогу об'єднати локальні й віддалені системи управління в єдину платформу, забезпечуючи повний контроль над технологічним процесом.

Важливим аспектом розробки ПЗ є безпека. Передача даних через інтернет робить систему вразливою до кібератак, тому програмне забезпечення повинно включати сучасні механізми шифрування, автентифікацію користувачів і автоматичний моніторинг підозрілої активності.

1.5 Постановка завдання

Метою роботи є розробка апаратно-програмного комплексу для автоматизації процесу підігріву води, що забезпечить підвищення ефективності, зниження енергоспоживання та оптимізацію витрат на обслуговування. Для досягнення цієї мети необхідно виконати такі завдання:

1. Провести аналіз сучасних систем управління підігрівом води, визначивши їх переваги, недоліки та можливості для інтеграції з новітніми технологіями.
2. Розробити алгоритми управління системою підігріву води, які враховують динамічні зміни умов експлуатації, такі як погодні фактори, графіки споживання та технічний стан обладнання.
3. Спроекувати структурну та принципову електричну схеми комплексу, вибравши оптимальні компоненти для реалізації поставлених завдань.
4. Розробити програмне забезпечення, що реалізує функції моніторингу параметрів, регулювання роботи виконавчих механізмів та прогнозування несправностей.
5. Провести тестування комплексу на відповідність технічним вимогам, оцінити його енергоефективність та надійність.

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.159 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17

2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Математичні моделі лінійних систем автоматичного управління

Ефективність керування технологічними процесами підігріву води залежить від того наскільки ефективно визначити необхідний тип системи керування, його режими керування, тип регулятора та якість визначеної математичної моделі об'єкту та системи в цілому та її показники якості.

За результатами дослідження визначено, що найбільш ефективною за всіма переліченими ознаками є автоматична система – тобто така система, в якій здійснюється вимірювання регульованої змінної, а можливо, і деяких збурень, що діють на систему, і здійснюється автоматичний вплив на об'єкт управління з метою забезпечення заданого закону зміни регульованої змінної.

Перебіг виробничих процесів характеризується змінними, які називаються параметрами виробничих процесів. Щоб виробничі процеси протікали з високим коефіцієнтом корисної дії та заданою продуктивністю, необхідно параметри підтримувати на заданому рівні або змінювати за певним законом.

У загальному вигляді структурна схема системи автоматичного управління (САУ) наведена на рис. 2.2 [4], де відповідний Регулятор (Р) забезпечує реалізацію відповідного закону регулювання об'єктом управління (технологічним процесом) (ОУ) для підтримання вихідного параметру системи $y(t)$ на рівні, який визначається сигналом завдання $g(t)$. Керуючий вплив $U(t)$ формується регулятором Р на основі визначення похибки керування між сигналом завдання $g(t)$ та сигналом зворотного зв'язку, який передає інформацію про фактичне значення вихідного параметру $y(t)$.

					ЕлІТ 8.171.00.10.159 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

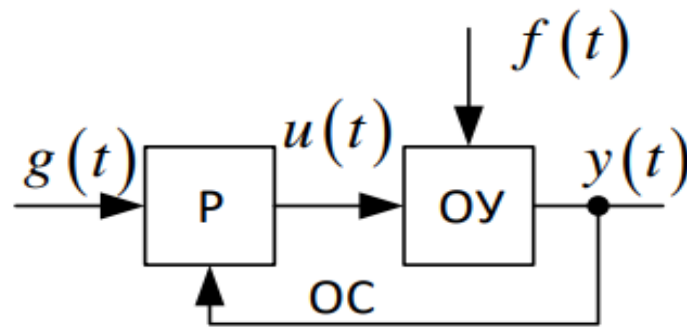


Рисунок 2.1 – Загальна структура системи автоматичного управління (САУ).

2.2 Класифікація систем автоматичного управління

Системи автоматичного управління можна класифікувати за різними критеріями, які визначають їхню структуру, спосіб дії та цілі функціонування.

2.2.1 За видом впливу

Класифікація за видом впливу передбачає поділ систем залежно від того, як формується керуючий сигнал.

- Управляючі впливи, які формуються людиною. У таких системах керуючий сигнал формується оператором вручну на основі його спостережень і досвіду. Цей тип управління є найпростішим і використовується в системах, де процеси не є критично швидкими.
- Управляючі впливи, які формуються автоматичним пристроєм. Системи автоматичного управління використовують спеціальні пристрої або алгоритми для формування керуючого сигналу. Регулятор автоматично обчислює вплив на основі вимірювання похибки регулювання та закладених алгоритмів.

2.2.2 За цілями управління

Залежно від цілей, які ставить система автоматичного управління, їх поділяють на кілька основних типів:

					ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

- **Системи автоматичного регулювання (САР).** Головною метою САР є підтримання постійного значення регульованої величини. Ці системи активно протидіють зовнішнім збуренням, які можуть вплинути на процес.

Приклад: Регулювання температури води в котлі або підтримка рівня рідини в резервуарі.

- **Системи програмного управління (СПУ).** У таких системах закон зміни регульованої величини визначений заздалегідь і не залежить від збурень. Управління відбувається за заздалегідь підготовленою програмою або алгоритмом.

Приклад: Послідовне нагрівання та охолодження у термокамері за заданою програмою.

- **Системи стеження (СС).** Системи стеження призначені для відтворення невідомих або змінних у часі сигналів, що надходять як задаючий вплив. Основна задача системи – з мінімальною похибкою слідувати за цим сигналом.

Приклад: Управління радіотелескопами або слідування за траєкторією літака.

2.2.3 За способом формування управляючого впливу

За способом формування керуючого впливу системи автоматичного управління поділяються на:

Розімкнуті системи. У розімкнутих системах немає зворотного зв'язку. Керуючий сигнал формується лише на основі вхідного впливу без урахування фактичного стану об'єкта управління.

Переваги: Простота реалізації та швидкість дії. *Недоліки:* Відсутність корекції при збуреннях призводить до значних похибок. *Приклад:* Системи поливу, де подача води не залежить від поточного рівня вологості ґрунту.

Замкнуті системи. Замкнуті системи мають зворотний зв'язок, який дозволяє регулятору враховувати поточне значення регульованої величини. Керуючий сигнал коригується на основі похибки регулювання, що є різницею між заданим значенням і фактичним.

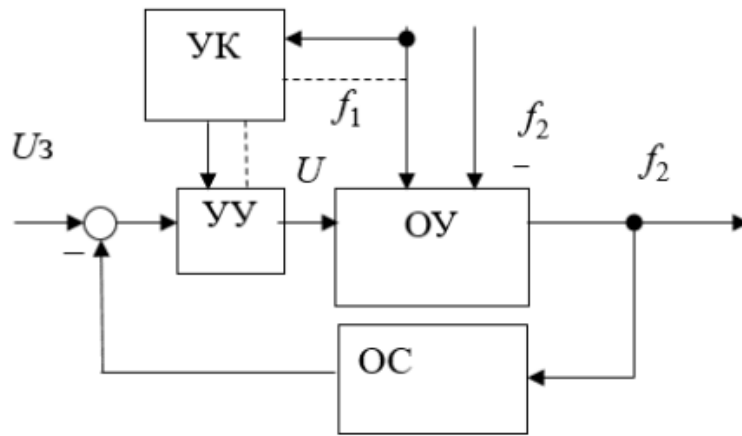


Рисунок 2.2. – Структура замкнутої системи автоматичного управління із зворотнім зв'язком.

Основні елементи системи:

- **Задаючий сигнал (U_3):** Визначає необхідне значення регульованого параметра. Це початковий сигнал, який встановлює цільові умови для роботи системи.
- **Управляючий контролер (УК):** Аналізує різницю між задаючим сигналом та поточним значенням виходу системи. Цей елемент визначає необхідний керуючий вплив U для досягнення заданих умов.
- **Управляючий орган (УУ):** Формує керуючий вплив U , який надходить до об'єкта управління. Це може бути будь-який регулятор або виконавчий механізм.
- **Об'єкт управління (ОУ):** Це реальний процес або установка, стан якої потрібно контролювати. На об'єкт діють як керуючі сигнали U , так і збурення f_1 та f_2 .
- **Збурення (f_1 та f_2):** Впливи, що порушують стабільність об'єкта управління. Вони можуть бути як внутрішніми (недосконалість системи), так і зовнішніми (зміна умов середовища).
- **Зворотний зв'язок (ОС):** Передає поточне значення регульованої величини на вхід контролера для порівняння із задаючим сигналом. Завдяки зворотному зв'язку система може автоматично коригувати свої дії.

Принцип роботи системи:

- Задаючий сигнал U_3 встановлює бажане значення параметра.
- Контролер УК обчислює похибку (різницю між задаючим значенням і виходом системи) та генерує керуючий сигнал U .
- Керуючий орган УУ формує вплив на об'єкт управління ОУ.
- Об'єкт управління реагує на керуючий сигнал, але водночас на нього діють зовнішні збурення f_1 та f_2 .
- Зворотний зв'язок (ОС) передає актуальні значення параметра назад до контролера для подальшого коригування.

2.3 Часові показники якості роботи автоматичних систем

Диференціальне рівняння не дає наочного уявлення про динамічних властивостях елемента, але таке уявлення дає функція $y(t)$, тобто розв'язання цього рівняння. Однак те саме диференціальне рівняння може мати безліч рішень, що залежать від початкових умов та характеру вхідного дії $x(t)$, що незручно при зіставленні динамічних властивостей різних елементів. Тому було вирішено характеризувати ці властивості елемента лише одним рішенням диференціального рівняння, отриманим при нульових початкових умовах та одному з типових впливів: одиничному ступінчастому, дельта-функції, гармонійному, лінійному.

Найбільш наочне уявлення про динамічні властивості елемента дає його перехідна функція $h(t)$. Перехідна функція, або перехідна характеристика, $h(t)$ являє собою перехідний процес на виході ланки, що виникає при подачі на його вхід стрибкоподібного впливу при величині стрибка, рівної одиниці.

Ступінчаста функція є поширеним видом вхідного впливу в автоматичних системах. До такого виду зводяться миттєва зміна навантаження електричного генератора, миттєва зростання навантаження на валу двигуна, миттєвий поворот вхідного валика системи, що стежить і т.д. п.

За формою кривої перехідного процесу розрізняють:

- коливальний перехідний процес (I);
- малоколивальний перехідний процес (II);
- перехідний процес без перерегулювань (III);

									Арк.
									22
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ				

– монотонний перехідний процес (IV).

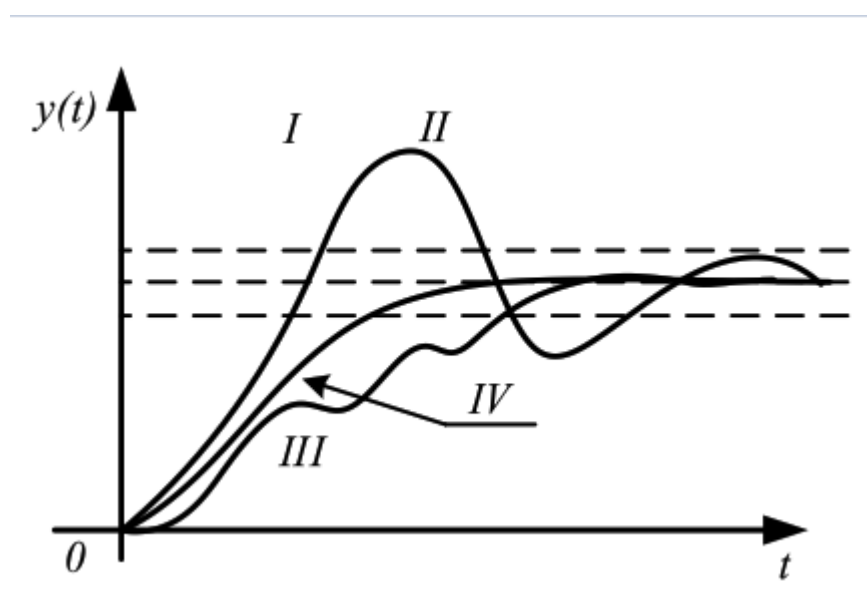


Рисунок 2.3 – Криві перехідних процесів

2.4 Визначення передаточної функції автоматичної системи

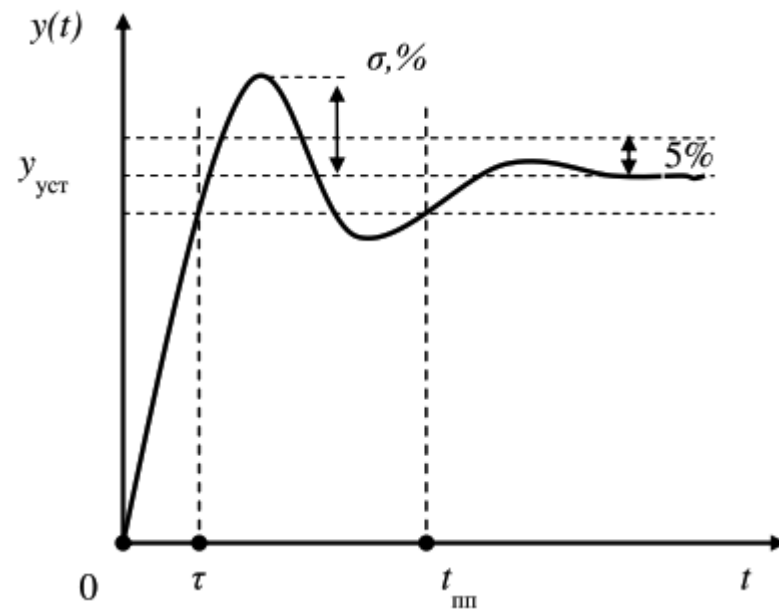


Рисунок 2.4 – Часові показники якості

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Замкнутий контур управління складається з об'єкта управління, регулятора та виконавчого пристрою:

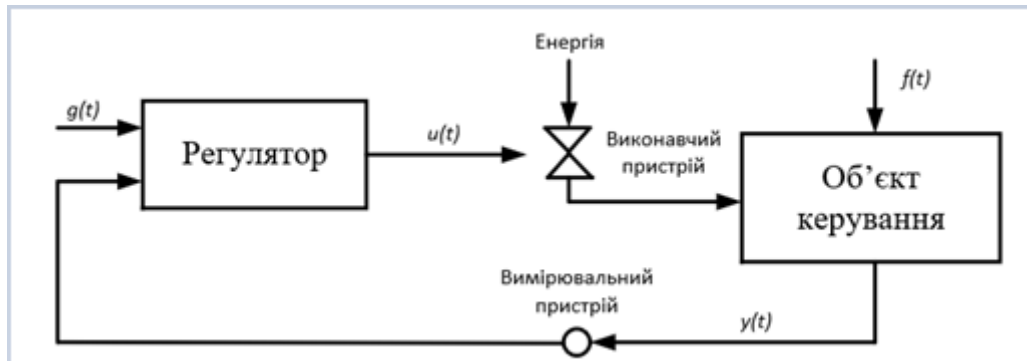


Рисунок 2.5 – Замкнутий контур регулювання

Структурно-аналітична схема САУ показана на рисунку 2.6. Об'єкт управління з одним управляючим $u(t)$ і одним збурюючим $f(t)$ впливами описується рівнянням:

$$y(t) = W_{oy}(p) \cdot u(t) - W_{ов}(p) \cdot f(t)$$

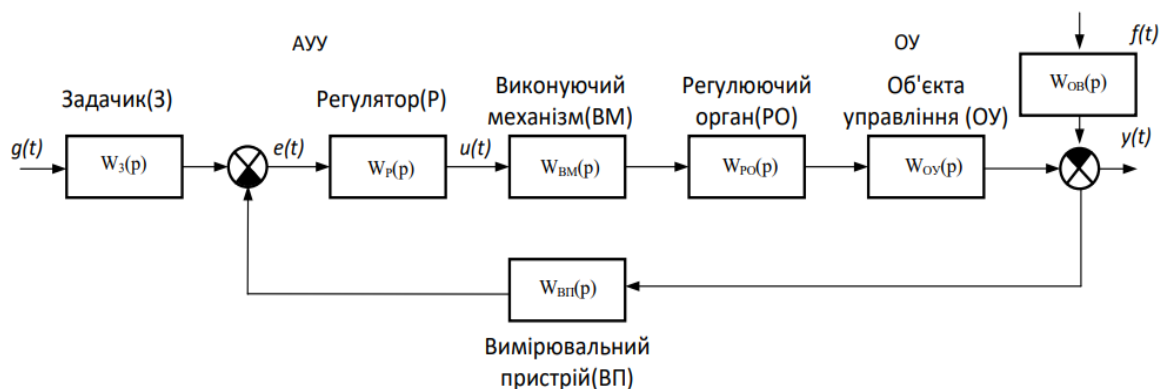


Рисунок 2.6 – Замкнутий контур регулювання

Передаточна функція АСУ за задаючим впливом
 Передаточна функція перетвореної замкнутої АСУ з одним ланцюгом при збурюючих впливах $f(p)=0$ і вхідному управляючому впливі визначається як:

$$W_{\text{ЗАМ}}(p) = \frac{Y(p)}{U_3(p)} = \frac{W_P(p) \cdot W_{\text{ВМ}}(p) \cdot W_{\text{ОУ}}(p)}{1 + W_P(p) \cdot W_{\text{ВМ}}(p) \cdot W_{\text{ОУ}}(p) \cdot W_{\text{ЗВ}}(p)}$$

2.5. Астатичні системи автоматичного керування

Автоматичні системи регулювання прийнято поділяти на статичні та астатичні залежно від того, чи мають вони відхилення або похибку в усталеному стані при впливах, що відповідають певним умовам.

Система регулювання називається статичною по відношенню до зовнішнього впливу, якщо при впливі, який із часом наближається до деякого усталеного постійного значення, відхилення регульованої величини також прагне до постійного значення, що залежить від величини впливу.

Система регулювання називається астатичною по відношенню до зовнішнього впливу, якщо при впливі, який із часом наближається до деякого усталеного постійного значення, відхилення регульованої величини прагне до нуля, незалежно від величини впливу.

Статизм та астатизм САР розглядаються окремо стосовно керуючого впливу $u(t)$ та збурюючого впливу $f(t)$.

Система буде статичною ($\nu=0$), якщо в контурі зворотного зв'язку між сигналом похибки та зовнішнім сигналом інтегруючі ланки у чистому вигляді відсутні, або всі вони компенсовані диференціюючими ланками. Установлена похибка буде обернено пропорційною коефіцієнту підсилення розімкнутої САР, збільшеному на одиницю. Теоретично похибку можна наблизити до нуля, спрямовуючи підсилення до нескінченності. Таке положення реалізується у релейних САР, елементи яких працюють у ковзному режимі.

Система буде астатичною, якщо порядок астатизму передаточної функції розімкнутої системи ($\nu>0$). Таким чином, в астатичній САР у контурі зворотного зв'язку між сигналом похибки та зовнішнім сигналом завжди повинні бути присутні інтегруючі ланки у чистому вигляді (хоча б одна). Тобто вони не повинні компенсуватися диференціюючими ланками і не повинні бути замкнутими жорсткими зворотними зв'язками.

Жорсткому зворотному зв'язку відповідає зворотний зв'язок у вигляді пропорційної ланки.

- Якщо $\nu=1$, — замкнута САР є астатичною першого порядку,

					ЕлІТ 8.171.00.10.159 ПЗ	Арк.
Зм..	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

- Якщо $v=2$, — астатичною другого порядку і так далі.

Для типових впливів за допомогою теореми про кінцеве значення можна розрахувати значення усталеної похибки.

Наприклад, для САР передаточна функція похибки за керуючим сигналом має вигляд:

Якщо прикладено керуючий вплив $g(t) = g_0 t^n$, де n — порядок кривої:

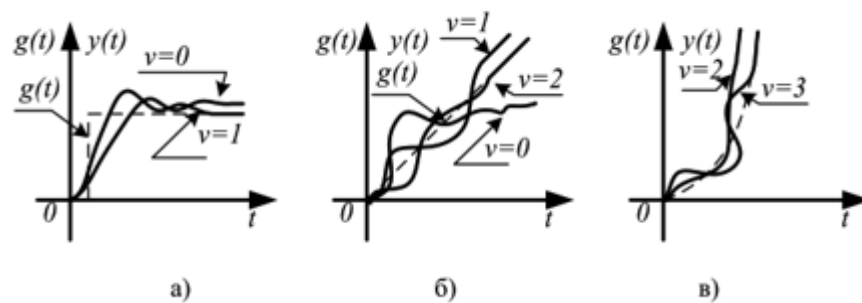


Рисунок 2.7 – Графіки зміни керуючого впливу та реакції системи

2.6 Визначення вимог при побудові автоматичної системи керування технологічним процесом підігріву води

За результатами аналізу принципів побудови автоматизованих систем керування технологічними процесами можна зробити висновок про основні властивості такої автоматичної системи. Автоматична система керування технологічним процесом підігріву води повинна бути астатичною автоматичною системою керування технологічним процесом із зворотним негативним зв'язком.

Управляючий вплив повинен формуватися автоматичним пристроєм із використанням алгоритмів для формування керуючого сигналу. Регулятор повинен автоматично обчислювати вплив на об'єкт управління на основі вимірювання похибки регулювання та закладених алгоритмів. В якості регулятора доцільно використати ПІД регулятор, який забезпечує відповідну якість автоматичної системи при регулюванні температури води та забезпечує часові параметри якості системи шляхом формування перехідного процесу з 5

										Арк.
Зм..	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						26

% перерегулюванням від встановленого (заданого) рівня температури (модульний оптимум).

З цією метою необхідно провести моделювання процесу керування технологічним процесом підігріву води контура в інтегрованому середовищі розробки SCADA системи Trace Mode 6.

2.7 Моделювання процесу регулювання процесу керування технологічним процесом підігріву води контура в інтегрованому середовищі розробки SCADA системи Trace Mode 6

2.7.1 Коливальний перехідний процес (I)

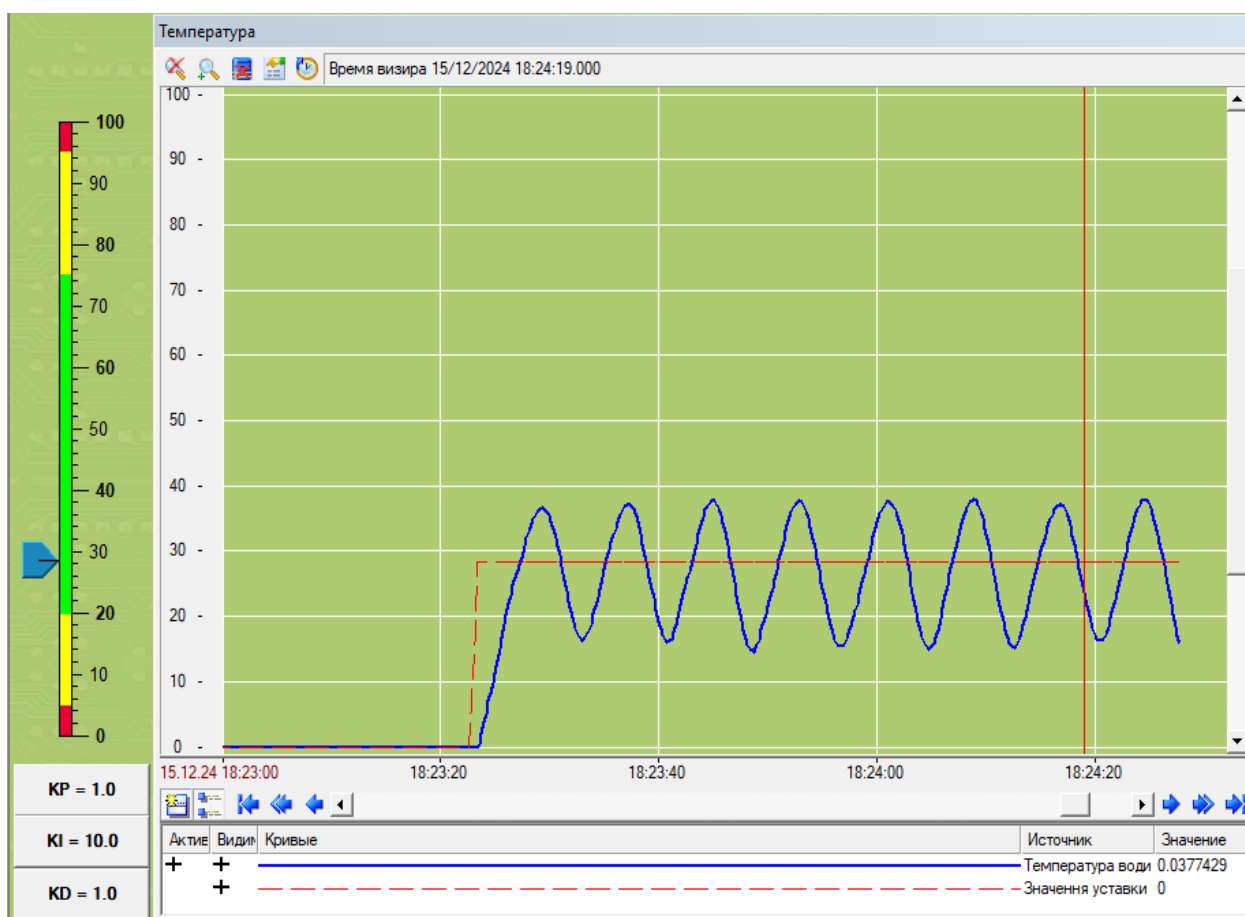


Рисунок 2.8 – Коливальний перехідний процес

На графіку представлено коливальний перехідний процес, який демонструє значні коливання температури навколо заданого значення. Така поведінка є результатом неправильного налаштування параметрів ПД-регулятора, що призводить до нестабільності системи.

Поведінка графіка

Система отримала ступінчастий вхідний сигнал – різкий стрибок уставки до 30 одиниць. У відповідь регульована величина (температура) різко піднялася, але не стабілізувалася на уставці. Натомість спостерігаються коливання з постійною амплітудою, які не затухають. Це означає, що система працює на межі стійкості і не досягає стабільного стану.

Вплив коефіцієнтів регулятора

K_p (пропорційний коефіцієнт) – невелике значення $K_p=1$ сприяє повільній реакції системи на похибку, через що температура лише частково компенсує стрибок уставки. Якщо збільшити K_p , система швидше реагуватиме на відхилення, але водночас можуть збільшитися амплітуди коливань.

K_i (інтегральний коефіцієнт) – високе значення $K_i=10$ накопичує похибку протягом часу. Через це система "перерозганяється" і виходить за межі уставки. Інтегральна складова сильно впливає на стабільність системи: надмірне значення викликає перерегулювання та сприяє коливанням.

K_d (диференційний коефіцієнт) – невелике значення $K_d=1$ робить регулятор слабким у гасінні коливань. Диференціальна складова відповідає за згладжування та гальмування різких змін, але тут її вплив недостатній для компенсації надмірної інтегральної дії.

2.7.2 Малоколивальний перехідний процес (II)

Малоколивальний перехідний процес має помірні коливання з поступовим їх затуханням. Перерегулювання системи становить близько 43%, але система зрештою досягає стабільного стану.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		28

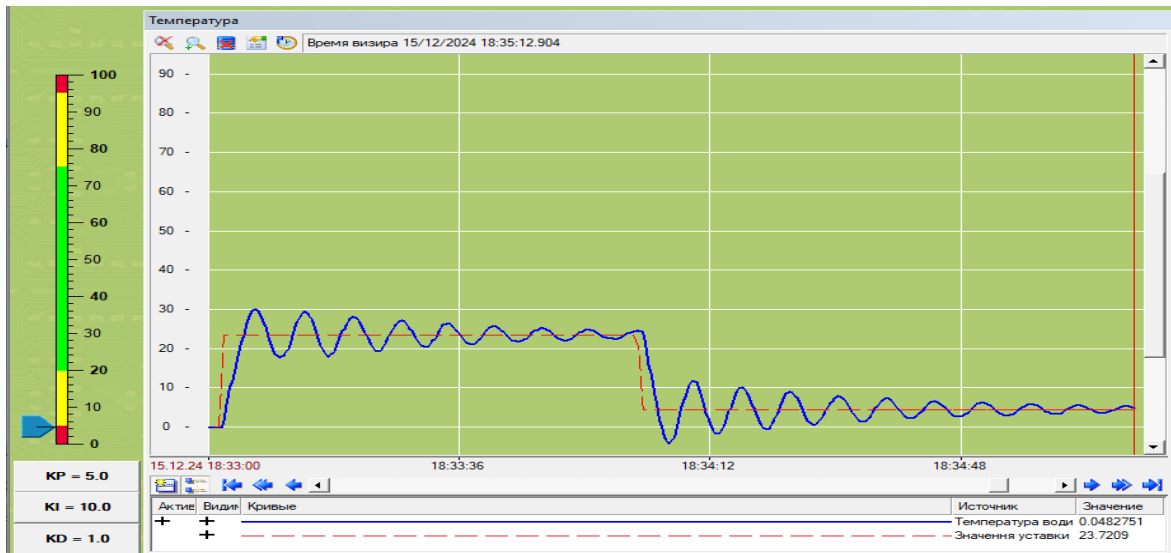


Рисунок 2.9 – Малоколивальний перехідний процес

На другому графіку спостерігається малоколивальний перехідний процес із поступовим затуханням коливань температури навколо заданої уставки. Відгук системи на ступінчасте збурення демонструє відносно швидке досягнення значення уставки з помірними коливаннями, що поступово зменшуються у часі.

На початковому етапі система швидко реагує на різку зміну вхідного сигналу, що пояснюється впливом пропорційної складової K_p . Збільшене значення $K_p=5$ забезпечує оперативне підведення вихідного значення до уставки, але також додає надлишкову реакцію, яка призводить до коливань.

Важливу роль у такій поведінці відіграє інтегральна складова $K_i=10$. Вона намагається компенсувати помилку, що накопичується у часі, але через велике значення коефіцієнта її вплив стає надмірним. Це підсилює амплітуду коливань і уповільнює процес затухання, що помітно на графіку. Температура «перевищує» уставку, але з часом коливання затухають і система стабілізується.

Диференціальна складова $K_d=1$ виконує роль гасіння швидких змін похибки, але її вплив недостатній для повного згладжування коливань. При такому значенні K_d система хоч і намагається стабілізуватися, але потребує більше часу для загасання коливань.

Отже, другий графік демонструє, що система має відносно швидкий перехідний процес, але зі значним перерегулюванням і помірними

коливаннями. Перерегулювання обумовлене великим значенням K_i та помірним K_p , тоді як недостатньо велике значення K_d не забезпечує ефективного гасіння цих коливань.

Для досягнення кращого результату у реальних умовах можна:

- Зменшити K_i для зниження накопиченого впливу похибки.
- Збільшити K_d для більш ефективного згладжування коливань.

2.7.3 Перехідний процес без перерегулювання (III)

Перехідний процес без перерегулювання є стабільним і монотонним. Система плавно досягає заданого значення температури без перевищення уставки.

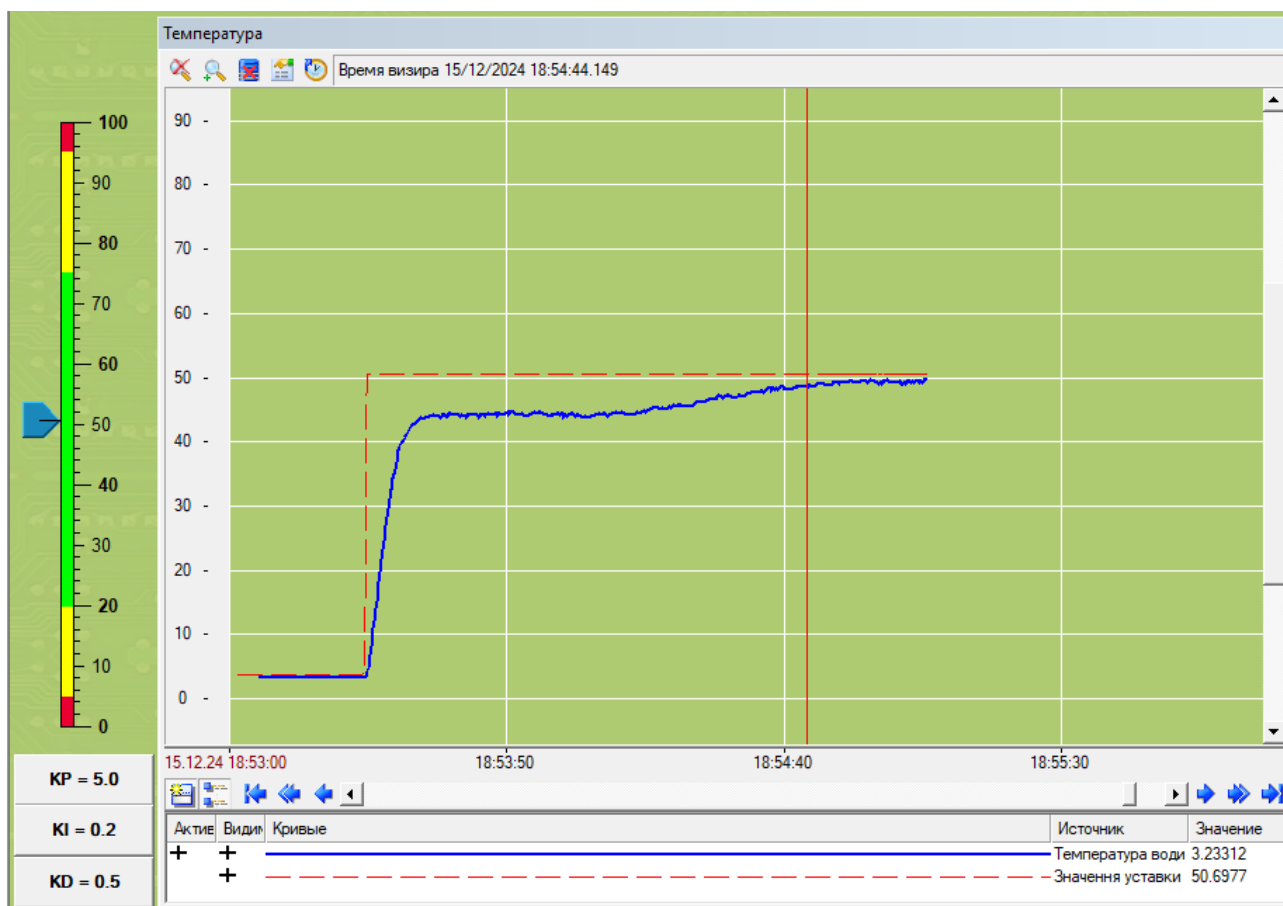


Рисунок 2.10 – Перехідний процес без перерегулювання

На третьому графіку представлено перехідний процес без перерегулювання. Цей графік демонструє стабільне та плавне досягнення

уставки з мінімальними відхиленнями і без перевищення заданого значення. Система реагує на ступінчастий вхідний сигнал, поступово наближаючись до уставки.

Основну роль у такій поведінці відіграють коефіцієнти налаштування регулятора:

Пропорційний коефіцієнт $K_p=5.0$ забезпечує достатню швидкість реакції системи на зміну вхідного сигналу. Похибка швидко зменшується, і вихідна величина наближається до уставки без різких коливань.

Інтегральний коефіцієнт $K_i=0.2$ відіграє мінімальну роль через своє мале значення. Інтегральна складова лише незначно впливає на поступове усунення залишкової похибки у перехідному процесі.

Диференціальний коефіцієнт $K_d=0.5$ відповідає за згладжування швидких змін вихідної величини. Невелике значення K_d забезпечує відсутність різких реакцій і надмірного коливання, але при цьому незначно подовжує час стабілізації.

Особливістю даного процесу є відсутність перерегулювання, що означає, що вихідна величина не перевищує значення уставки. Такий результат досягається завдяки збалансованим значенням K_p , K_i та K_d , які не допускають надмірного коригування системи.

Загальний результат:

- Процес характеризується плавним виходом на задане значення температури.
- Відсутність коливань навколо уставки.
- Тривалий час стабілізації, оскільки малі значення K_i і K_d уповільнюють процес корекції.

Така поведінка системи є бажаною у випадках, коли важлива стабільність і точність регулювання без надмірного збурення процесу. Наприклад, це застосовується в системах, де перерегулювання неприпустиме, як у терморегуляторах для підтримки критично важливих температур.

оскільки інтегральна складова зазвичай "підштовхує" систему до усунення залишкової похибки.

Диференціальний коефіцієнт $K_d=0.5$ забезпечує незначне згладжування реакції, але через його мале значення він не сильно впливає на процес.

Основна особливість цього графіка — повільне наближення до уставки без будь-яких перерегулювань чи коливань. Через нульове значення K_i система не має можливості ефективно усувати статичну похибку, тому вихідна величина стабілізується на значенні трохи нижчому від уставки.

Така поведінка є типовою для систем, де необхідно уникнути різких змін і коливань, але при цьому немає жорстких вимог до часу стабілізації. Наприклад, подібні налаштування можуть використовуватись у системах, де плавність регулювання є пріоритетом, а не швидкодія, як у процесах з делікатними об'єктами (теплові системи з невеликою інерційністю).

Вплив коефіцієнтів K_P , K_I , K_D на динаміку системи

Динаміка системи автоматичного управління значно залежить від налаштувань коефіцієнтів ПД-регулятора (K_P – пропорційний, K_I – інтегральний, K_D – диференціальний коефіцієнти). Кожен із цих коефіцієнтів виконує свою роль у забезпеченні стабільної та ефективної роботи системи.

1. Пропорційний коефіцієнт (K_P):

Коефіцієнт K_P відповідає за миттєву реакцію системи на похибку регулювання. Зі збільшенням K_P система швидше реагує на відхилення від заданого значення, проте це призводить до:

- Збільшення швидкості реакції: система швидко наближається до уставки.
- Збільшення перерегулювання: при великих значеннях K_P спостерігаються коливання навколо заданого значення.
- Можлива нестабільність: якщо K_P занадто великий, система виходить на межу стійкості та може почати коливатися.

Приклад: На графіку коливального процесу спостерігається значне перерегулювання через високий K_P та недостатню компенсацію іншими коефіцієнтами.

2. Інтегральний коефіцієнт (KI):

Коефіцієнт KI забезпечує усунення статичної похибки за рахунок накопичення значення похибки у часі. Зі збільшенням KI система краще компенсує постійні відхилення, але:

- Усунення статичної похибки: система точніше досягає уставки.
- Підвищення ризику коливань: велике значення KI призводить до коливань через інерційність інтегрувальної складової.
- Повільний перехідний процес: надмірний KI може сповільнити стабілізацію системи.

Приклад: На малоколивальному графіку (з перерегулюванням 43%) значення KI достатньо високе для усунення помилки, але воно створює невеликі коливання перед стабілізацією.

3. Диференційний коефіцієнт (KD):

Коефіцієнт KD реагує на швидкість зміни похибки та дозволяє передбачати майбутні відхилення. Вплив KD включає:

- Зменшення коливань: KD згладжує перехідний процес і знижує перерегулювання.
- Підвищення стабільності: особливо ефективний у системах із швидкою зміною вхідних параметрів.
- Чутливість до шуму: при великих значеннях KD регулятор може реагувати на незначні коливання, що призводить до нестабільності.

Приклад: На графіку монотонного процесу KD допомагає стабілізувати систему без коливань, але час досягнення уставки є довгим через низьке значення KI.

4. Сумісний вплив коефіцієнтів KP, KI, KD:

Оптимальне налаштування коефіцієнтів забезпечує баланс між швидкістю реакції, точністю та стабільністю системи:

- Великий KP та малий KI: швидка реакція, але зі значним перерегулюванням.
- Оптимальні KP та KI: стабільний процес із мінімальним перерегулюванням.

- Додання KD: зменшення коливань і прискорення стабілізації параметрів системи.

Таким чином, для кожної системи підбір коефіцієнтів KP, KI, KD є індивідуальним і залежить від вимог до динамічної реакції та стабільності.

2.8 Програмна реалізація системи управління

Для автоматизації процесу регулювання температури теплоносія у системах автоматичного управління використовується ПД-регулятор.

Його програмна реалізація виконується у вигляді функціонального блокового діаграмного (FBD) модуля. Цей підхід дозволяє забезпечити гнучкість налаштувань, інтеграцію з іншими елементами системи та високу точність управління, необхідну для стабільної роботи системи.

Ключовим елементом програмного рішення є блок для обчислення похибки регулювання. Він порівнює задане значення температури з поточним, вимірним сенсорами. Якщо система виявляє різницю між цими значеннями, похибка передається далі до блоку регулятора, де відбувається обчислення коригувального сигналу. Таким чином, система безперервно стежить за відхиленням температури та реагує на будь-які зміни в реальному часі.

ПД-регулятор, як частина програмного рішення, базується на трьох основних складових: пропорційній, інтегральній та диференційній. Кожна з них виконує свою роль у процесі регулювання. Пропорційна складова реагує на поточну похибку, підсилюючи сигнал залежно від її величини. Інтегральна частина компенсує накопичені відхилення у часі, забезпечуючи точне досягнення заданого рівня. Диференційна складова враховує швидкість зміни параметра, що допомагає запобігти коливанням і перевищенню уставки. Разом ці складові формують коригувальний сигнал, який передається до об'єкта управління.

Об'єкт управління – це та частина системи, де реалізується корекція параметрів. Наприклад, у системах регулювання температури це може бути нагрівальний елемент або клапан, що контролює потік теплоносія. Сигнал від ПД-регулятора змінює стан об'єкта, щоб температура наблизилася до заданого значення. Об'єкт управління також моделюється програмним

									Арк.
									35
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ				

1. Блок обчислення похибки (X-Y): Цей блок відповідає за порівняння значення температури, яку ми хочемо отримати (заданого значення), із поточним значенням, виміряним сенсорами. Він знаходить різницю між цими двома величинами – це і є похибка. Якщо температура ще не досягла потрібного значення, цей блок фіксує відхилення і передає його далі на регулятор.

2. Блок ПД-регулятора (PID): Це ключовий елемент системи, який аналізує отриману похибку і формує керуючий сигнал. Він складається з трьох компонентів:

- **Пропорційна частина** допомагає швидко відреагувати на поточне відхилення. Чим більша похибка, тим сильнішим буде сигнал на корекцію.
- **Інтегральна частина** накопичує похибку з часом і враховує її, щоб компенсувати навіть найменші відхилення.
- **Диференційна частина** прогнозує, як швидко змінюється похибка, і допомагає уникнути різких коливань системи. Таким чином, цей блок оптимізує роботу системи, щоб вона максимально швидко і точно досягла заданої температури.

3. Блок об'єкта управління (OBJ): Цей блок відповідає за моделювання реакції системи на керуючий сигнал від ПД-регулятора. У нашому випадку, об'єкт управління – це система підігріву води. Блок OBJ імітує, як об'єкт реагує на зміни сигналу – підвищення чи зниження температури.

4. Блок перенесення значення (MOVE): Блок MOVE передає вихідне значення температури на вихід системи. Це значення може бути використане для моніторингу та подальшого аналізу. Саме цей блок "замикає" цикл роботи системи, дозволяючи контролеру бачити результати коригування та оцінювати, наскільки система наблизилась до потрібного значення.

Таким чином, кожен блок відіграє важливу роль у програмній реалізації ПД-регулятора. Разом вони забезпечують точну підтримку температури шляхом автоматичного регулювання, аналізу похибки та швидкої корекції системи.

3. РОЗРОБЛЕННЯ АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ

3.1 Алгоритм функціонування системи

Автоматизована система управління температурою котла забезпечує безперервну роботу за замкнутим циклом. Вона виконує моніторинг параметрів, аналіз відхилень та автоматичне коригування на основі отриманих даних. Алгоритм функціонування побудований таким чином, щоб гарантувати ефективність і надійність процесу в будь-яких експлуатаційних умовах.

Етапи функціонування системи

1. Ініціалізація: Робота системи починається з перевірки стану її компонентів. Контролер зчитує дані з датчиків температури, тиску і витрати, а також виконує тестування виконавчих механізмів. У разі виявлення несправностей система генерує попередження для оператора, записує відповідний запис у журнал подій та блокує запуск процесу до усунення проблем.
2. Зчитування вхідних параметрів: Система отримує дані про поточну температуру, тиск та витрати від датчиків, встановлених у критичних точках технологічного процесу. Ці параметри передаються до контролера, де порівнюються із заданими значеннями.
3. Аналіз і коригування: У разі виявлення відхилення параметрів від заданих значень ПІД-регулятор визначає необхідні коригувальні дії. Це може бути зміна потужності нагрівального елемента або відкриття/закриття клапанів для регулювання потоку теплоносія.
4. Реакція на зовнішні збурення: Якщо у систему потрапляє холодна вода чи відбуваються інші зовнішні впливи, регулятор автоматично адаптує роботу системи. Завдяки інтегральній та диференціальній складовій ПІД-регулятора забезпечується швидка стабілізація параметрів.
5. Моніторинг у реальному часі: Всі показники системи, включаючи температуру, стан виконавчих механізмів і рівень стабільності роботи, передаються на SCADA-систему. Оператор може

									Арк.
									38
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ

контролювати ці параметри та втручатися у процес за необхідності.

6. Аварійне реагування: У разі виявлення критичних ситуацій, таких як перегрів теплоносія або надмірний тиск, система автоматично зупиняє нагрівальний елемент, закриває клапани та сповіщає оператора. Дані про аварію записуються в журнал подій для подальшого аналізу.
7. Завершення роботи: Після виконання завдання або за командою оператора система поступово зупиняє всі процеси. Зібрані дані архівуються для подальшого аналізу ефективності.

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.159 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		39

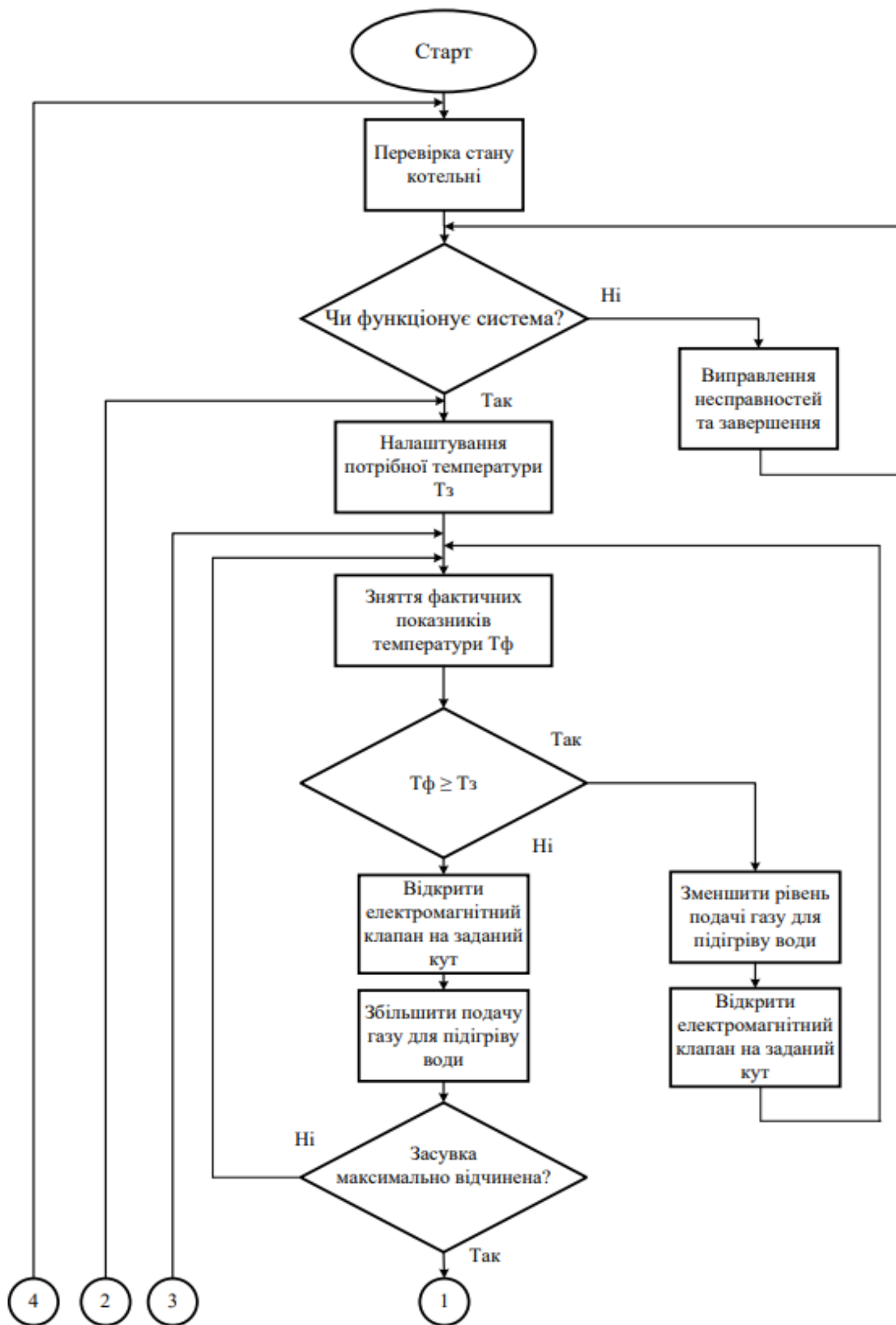


Рисунок 3.1. – Алгоритм функціонування системи автоматизованого управління

3.2 Структурна схема системи

Структурна схема автоматизованої системи управління температурою відображає взаємозв'язок між основними компонентами, забезпечуючи цілісний огляд функціонування системи. Вона демонструє, як зчитуються дані з датчиків, обробляються контролером і передаються до виконавчих механізмів, які коригують параметри процесу для досягнення необхідного значення температури теплоносія.

Основні компоненти структурної схеми:

- 1. Датчики температури, тиску та витрати:** Ці елементи встановлюються у ключових точках системи та забезпечують зчитування поточних параметрів теплоносія (температура, тиск, витрати газу та води). Дані передаються до контролера в реальному часі для подальшої обробки.
- 2. Контролер (ПД-регулятор):** Виконує функції аналізу отриманих даних та формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів. Контролер обробляє інформацію за допомогою алгоритмів ПД-регулювання, щоб стабілізувати температуру теплоносія. Параметри роботи регулятора задаються через блок встановлення уставок. Контролер також інтегрований із SCADA-системою для забезпечення дистанційного управління та моніторингу.
- 3. Виконавчі механізми Включають:**
 - Нагрівальні елементи – забезпечують підвищення температури теплоносія.
 - Клапани подачі газу – регулюють потік газу для підтримки необхідного рівня нагріву.
 - Клапани напірного та мережевого насосів – коригують потік води у системі залежно від необхідних параметрів процесу.
- 4. Блок контролю і вимірювання тиску:** Відповідає за відстеження тиску в системі для уникнення аварійних ситуацій та стабільної роботи котлів.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42

5. **Блок моніторингу роботи котлів:** Відстежує параметри роботи котлів та передає дані до контролера. Забезпечує контроль за ефективністю функціонування системи нагріву.
6. **Блок відстеження витрати газу та води:** Забезпечує контроль і моніторинг кількості витрачених ресурсів, що дозволяє оптимізувати роботу системи.
7. **SCADA-система:** Візуалізує роботу системи в реальному часі, відображаючи основні параметри: температуру, тиск, витрати газу та води. SCADA-система також виконує архівування даних для подальшого аналізу та забезпечує можливість дистанційного управління системою.
8. **Електропривід:** Виконує функцію активації виконавчих механізмів, таких як клапани подачі газу або води.
9. **Об'єкт керування (котел):** Основний елемент системи, у якому відбувається нагрів теплоносія. Регулювання температури здійснюється за допомогою керуючих сигналів від контролера.

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.159 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		43

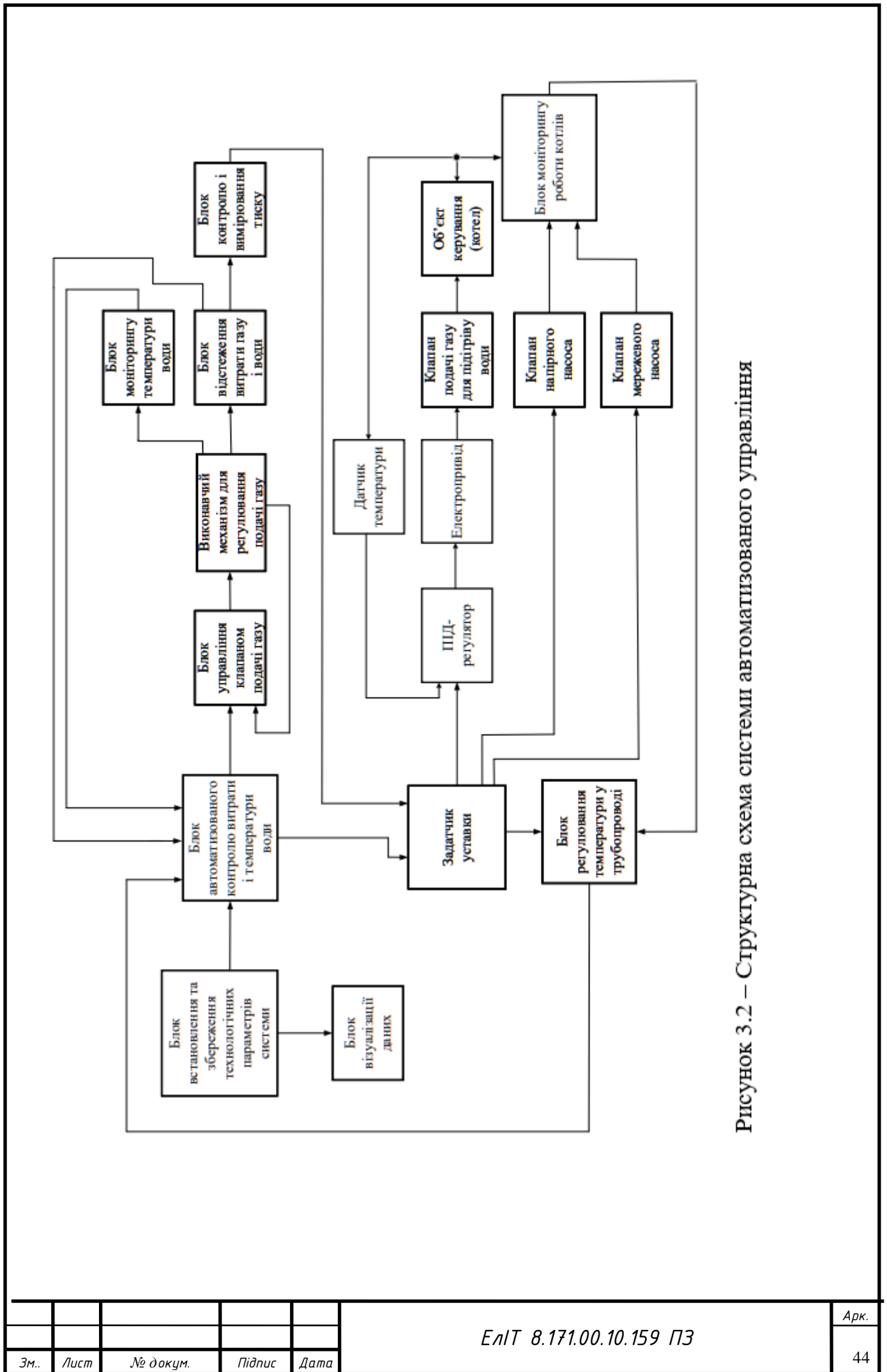


Рисунок 3.2 – Структурна схема системи автоматизованого управління

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

4. РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Функціональна схема апаратно-програмного комплексу управління технологічним процесом підігріву води демонструє взаємодію основних компонентів системи, що забезпечують збір, обробку та передачу даних для керування параметрами технологічного процесу. Основою роботи системи є центральний процесор, який виконує функції обробки даних, управління пам'яттю, периферійними пристроями та формування команд для регулювання процесу.

На вході схеми розташовані аналогові датчики, що вимірюють фізичні параметри середовища, зокрема температуру та тиск. Сигнали від датчиків надходять на аналоговий перемикач, який виконує вибір необхідного сигналу для обробки. Вибраний сигнал передається на аналого-цифровий перетворювач (АЦП), де він оцифровується та надходить у цифровому вигляді на шину даних. Через шину даних інформація передається центральному процесору для аналізу.

Для узгодження сигналів між процесором і шиною використовуються буферні мікросхеми, що забезпечують коректну передачу даних і мінімізують навантаження на шину. Мультиплектори дозволяють оптимізувати роботу шини, забезпечуючи комутацію сигналів від різних джерел до єдиного виходу. Контролер шини синхронізує обмін даними між процесором, пам'яттю та іншими компонентами, координуючи процеси читання і запису.

У постійній пам'яті зберігається програма управління системою, яка включає алгоритми роботи, логіку обробки даних та формування керуючих команд. Оперативна пам'ять використовується для тимчасового зберігання проміжних результатів обчислень та поточних даних. Периферійний адаптер забезпечує обмін інформацією між процесором та виконавчими пристроями, які здійснюють регулювання технологічного процесу.

Система функціонує у циклічному режимі: дані від датчиків обробляються процесором, порівнюються із заданими параметрами, після чого формуються керуючі команди для виконавчих пристроїв. Це дозволяє підтримувати необхідні параметри підігріву води та реагувати на зміни в реальному часі.

									Арк.
									45
Зм..	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

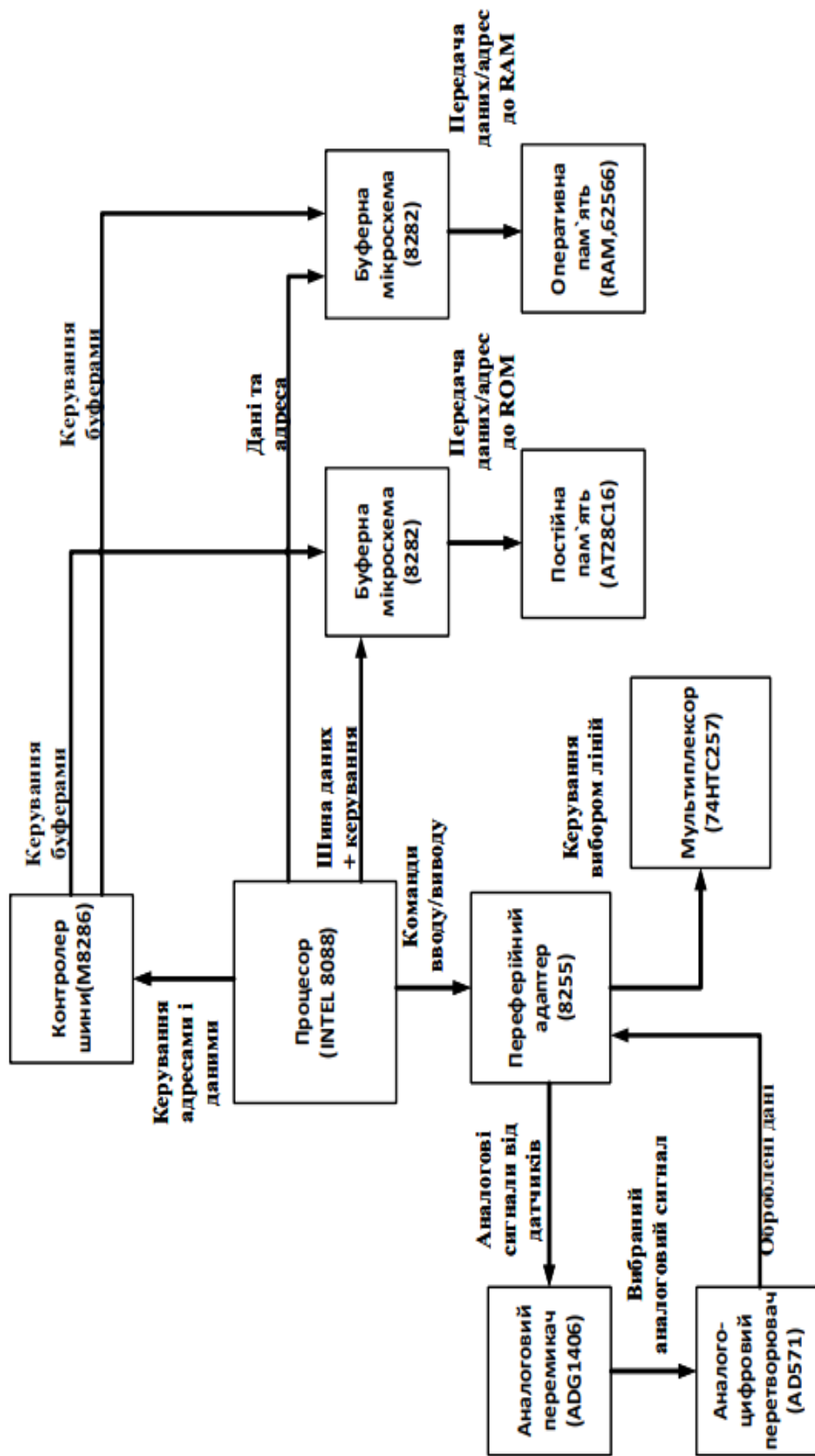


Рисунок 4.1. Функціональна схема апаратно-програмного комплексу управління підгрівом води

Функціональна схема демонструє взаємодію основних елементів системи управління, починаючи з введення аналогових сигналів та завершуючи обробкою і передачею керуючих команд. Датчики подають аналогові значення параметрів, які за допомогою аналогового перемикача передаються на аналого-цифровий перетворювач. Оцифровані дані через шини даних надходять у центральний процесор, де вони аналізуються згідно з алгоритмами, закладеними у постійну пам'ять.

Контролер шини забезпечує координацію роботи всіх елементів, синхронізуючи обмін даними між процесором, пам'яттю та периферійними пристроями. Буферні мікросхеми сприяють коректній передачі даних між шиною та іншими компонентами, зменшуючи навантаження на систему. Мультиплектори використовуються для об'єднання кількох сигналів і передачі їх у потрібний напрямок, що підвищує ефективність роботи схеми.

У постійній пам'яті зберігаються основні інструкції та параметри системи, тоді як оперативна пам'ять використовується для динамічного збереження даних під час роботи. Процесор обчислює відхилення від заданих значень параметрів і формує керуючі сигнали, які через периферійний адаптер передаються на виконавчі механізми. Це забезпечує автоматичне регулювання процесу підігріву води, підтримуючи стабільність системи.

Функціональна схема наочно показує, як дані проходять через систему, перетворюються, обробляються та впливають на роботу виконавчих пристроїв. Злагоджена робота всіх компонентів дозволяє точно контролювати параметри процесу, забезпечуючи ефективне функціонування комплексу в реальному часі.

5. РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИЦИПОВОЇ ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

5.1 Мікропроцесор Intel 8088 (DD2)

Мікропроцесор Intel 8088 є центральним елементом цифрової системи, який забезпечує виконання програм, обробку даних і управління іншими компонентами. Архітектура процесора 16-бітна, але для роботи з периферійними пристроями використовується 8-бітна зовнішня шина даних, що спрощує підключення до інших компонентів системи.

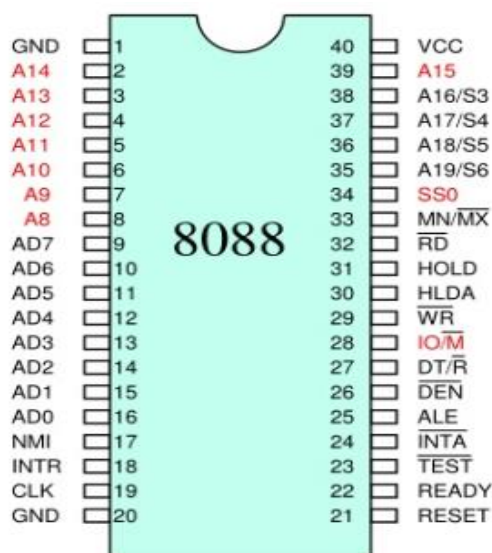


Рисунок 5.1 – Процесор Intel 8088

Функціональне призначення:

- Виконання програмного забезпечення.
- Управління адресацією пам'яті та периферійних пристроїв.
- Обробка арифметичних і логічних операцій.

Основні характеристики:

- Розрядність: 16 біт (внутрішня архітектура), 8 біт (зовнішня шина даних).
- Шина адреси: 20 біт (доступ до 1 МБ пам'яті).
- Тактова частота: 5 або 10 МГц.

- Інструкційний набір: Підтримує набір інструкцій x86.
- Напруга живлення: +5 В.

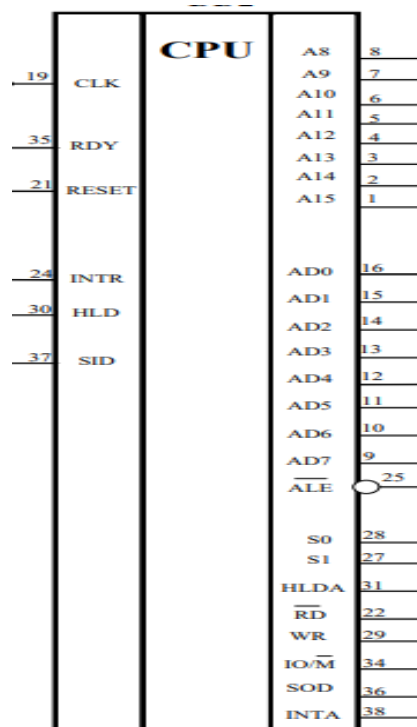


Рисунок 5.2 – Умовне графічне позначення процесора Intel 8088

Принцип роботи: Процесор працює за рахунок виконання інструкцій із пам'яті, використовуючи три основні шини: адресну, даних і керування. На початку кожного циклу зчитується адреса комірки пам'яті чи периферійного пристрою через адресну шину, після чого здійснюється обмін даними через шину даних. Сигнали керування синхронізують ці процеси і дозволяють процесору взаємодіяти з іншими компонентами системи, такими як пам'ять і периферійні адаптери.

Мікропроцесор Intel 8088 є основним обчислювальним елементом системи, який забезпечує взаємодію з усіма підключеними компонентами, такими як пам'ять, периферійні пристрої, мультиплексори та інтерфейси вводу/виводу. Завдяки своїй архітектурі, він виконує складні обчислення, обробляє дані та координує роботу всієї системи. Мікропроцесор ініціює обмін даними, обробляє інструкції програмного забезпечення та передає керуючі сигнали до інших мікросхем, таких як 8255, мультиплексори (ADG1406), аналого-цифрові перетворювачі (AD571) та інші елементи. Його

взаємодія з іншими компонентами базується на адресній і даній шинах, а також керуючих сигналах, що забезпечує синхронізацію роботи системи.

Таблиця 5.1 – Розшифровка виводів процесора Intel 8088

Номер виводу	Позначення
1–8	A15–A8
9–16	AD0–AD7
19	CLK
21	RESET
22	\overline{RD}
24	INTR
25	\overline{ALE}
27	S0
28	S1
29	WR
30	HLD
31	HLDA
34	IO/ \overline{M}
35	RDY
36	SOD
37	SID
38	INTA

- A15–A8 (1–8): Це старші біти адресної шини, які використовуються для адресації пам'яті. Вони взаємодіють із контролерами пам'яті для доступу до зовнішніх модулів.
- AD0–AD7 (9–16): Ці виводи виконують дві функції: передають адреси під час першого такту і дані під час наступних тактів. Вони забезпечують зв'язок між процесором і периферійними пристроями.

- CLK (19): Генерує синхронізацію для внутрішніх і зовнішніх компонентів системи. Його стабільність важлива для забезпечення коректної роботи.
- RESET (21): Скидає всі внутрішні регістри та встановлює процесор у початковий стан. Цей сигнал необхідний для початку роботи системи після ввімкнення.
- \overline{RD} (22): Активний низький сигнал, що вказує на операцію читання даних із пам'яті чи пристрою вводу/виводу.
- INTR (24): Лінія апаратного переривання, що активується зовнішніми пристроями для зупинки поточного виконання програми та обробки нового запиту.
- \overline{ALE} (25): Генерує сигнал для розмежування адрес і даних. Використовується для забезпечення мультиплексування шини AD₀–AD₇.
- IO/M (34): Визначає тип операції, що виконується: доступ до пам'яті чи вводу/виводу.
- RDY (35): Сигнал готовності периферійного пристрою до передачі або прийому даних.
- SOD (36): Лінія послідовного виводу даних, що використовується для передачі інформації через послідовний інтерфейс.
- SID (37): Лінія послідовного вводу даних, що зчитує інформацію з зовнішніх пристроїв.
- INTA (38): Сигнал підтвердження апаратного переривання, який активується під час обробки запиту.

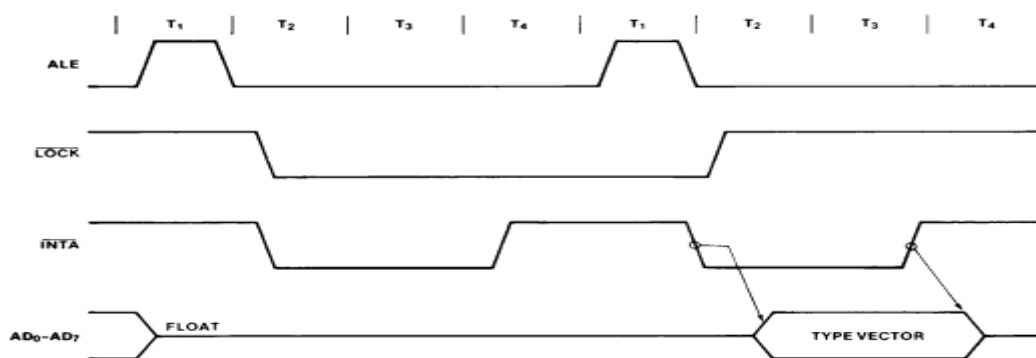


Рисунок 5.3. – Часова діаграма роботи Intel 8088

Сигнал активується на початку кожного циклу, щоб зафіксувати адресу на лініях AD0–AD7. Після завершення адресного такту ці лінії використовуються для передачі даних. Сигнали і визначають тип операції: читання або запису. Наприклад, під час активного дані зчитуються з пам'яті або

периферійного пристрою.

На рисунку також видно, як сигнали синхронізуються з тактовим імпульсом CLK, що забезпечує правильність їх взаємодії.

5.2. Периферійний адаптер 8255

Мікросхема 8255 — це програмований периферійний інтерфейс (Programmable Peripheral Interface, PPI), який використовується для організації вводу/виводу даних між мікропроцесором та периферійними пристроями. Вона дозволяє взаємодію через три 8-бітних порти, які можуть бути налаштовані для роботи в різних режимах.

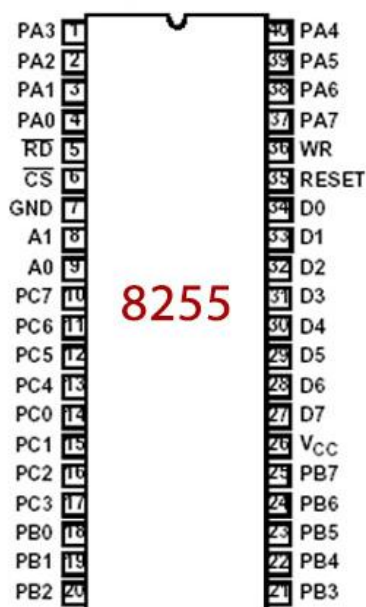


Рисунок 5.4 – Периферійний адаптер (8255)

Функціональне призначення:

- Забезпечує ввід та вивід даних між мікропроцесором і зовнішніми пристроями.
- Дозволяє реалізувати обмін даними з використанням стробуючих сигналів для синхронізації.
- Виконує функції прямого доступу до периферійних пристроїв через програмування регістрів.

Основні характеристики:

- Кількість портів: Три 8-бітних порти (РА, РВ, РС).
- Режими роботи:
- Режим 0: Простий ввід/вивід.
- Режим 1: Ввід/вивід із сигналами стробування.
- Режим 2: Двосторонній передавальний режим для порту А.
- Напруга живлення: +5 В.
- Сумісність: Використовується з мікропроцесорами серії x86.
- Підключення: Через адресну, дану шини та сигнали керування.

Принцип роботи мікросхеми базується на програмуванні спеціальних регістрів керування, які визначають функціональність портів і їхній режим роботи (ввід чи вивід). Це дозволяє адаптувати мікросхему до конкретних задач і вимог системи. Регістри програмуються через шину даних у процесі ініціалізації або під час роботи пристрою.

Вибір конкретного порту (А, В або С) здійснюється через адресні лінії А0 та А1, які вказують, до якого регістра чи порту має звертатися мікропроцесор. Адресація дозволяє точно ідентифікувати необхідний порт або регістр керування.

Для обміну даними між мікропроцесором і периферійними пристроями використовуються сигнали керування RD (читання) та WR (запис). Ці сигнали забезпечують синхронізацію процесу доступу до портів і дозволяють передавати дані в обох напрямках, залежно від налаштованого режиму роботи.

У режимах роботи 1 і 2 передбачене використання стробуючих сигналів, які синхронізують передачу даних між мікропроцесором та зовнішніми пристроями. Ця функція забезпечує більш високий рівень надійності передачі інформації та мінімізує ризики втрати даних або помилок у зв'язку.

					<i>ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		53

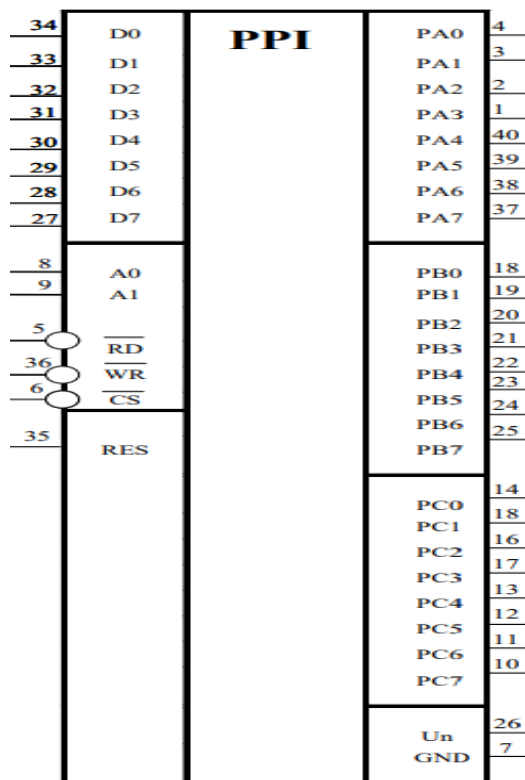


Рисунок 5.5 – Умовне графічне позначення периферійного адаптера (8255)

Периферійний адаптер 8255 виконує ключову роль у забезпеченні вводу/виводу даних у мікропроцесорній системі, створюючи гнучкий інтерфейс між мікропроцесором і зовнішніми пристроями. Ця мікросхема дозволяє підключати такі пристрої, як клавіатури, дисплеї, датчики, виконавчі механізми, а також інші периферійні елементи, які використовуються для збору, обробки та передачі інформації. Її можливості включають підтримку кількох режимів роботи, що робить адаптер універсальним рішенням для різних застосувань.

Крім того, 8255 має програмовані регістри, які визначають конфігурацію портів і режими їхньої роботи. Завдяки цьому адаптер може легко інтегруватися в багатофункціональні системи, де потрібна висока гнучкість і продуктивність. Завдяки своїм універсальним можливостям, 8255 є важливим компонентом у створенні мікропроцесорних систем управління, збору даних та автоматизації.

Таблиця 5.2 – Номера виводів периферійного адаптера (8255)

Номер виводу	Позначення
34–27	D0–D7
9–8	A0, A1
5	\overline{RD}
36	\overline{WR}
6	\overline{CS}
35	RES
4–1, 40–37	PA0–PA7
18–25	PB0–PB7
10–18 (без 15)	PC0–PC7
7	GND
26	Un

- D0–D7 (34–27): Двонаправлена шина даних для обміну інформацією між мікросхемою та процесором.
- A0, A1 (9–8): Лінії адреси, що визначають вибір порту або регістру управління.
- \overline{RD} (5): Сигнал читання, який активується, коли процесор звертається до мікросхеми для отримання даних.
- \overline{WR} (36): Сигнал запису, який використовується для передачі даних у мікросхему.
- \overline{CS} (6): Сигнал вибору мікросхеми, що активує пристрій для виконання операцій.
- PA0–PA7 (4–1, 40–37): Лінії порту A, які можуть бути конфігуровані як входи або виходи.
- PB0–PB7 (18–25): Лінії порту B для передачі або прийому даних.
- PC0–PC7 (10–18): Лінії порту C, які можуть працювати в режимі індивідуальних бітів або груп.
- GND (7): Загальний провід (заземлення).
- Un (26): Резервний вивід.

перетворювачах або інших аналогових блоках. Така можливість комутації дозволяє мінімізувати кількість компонентів у системі та забезпечує високу гнучкість конфігурації.

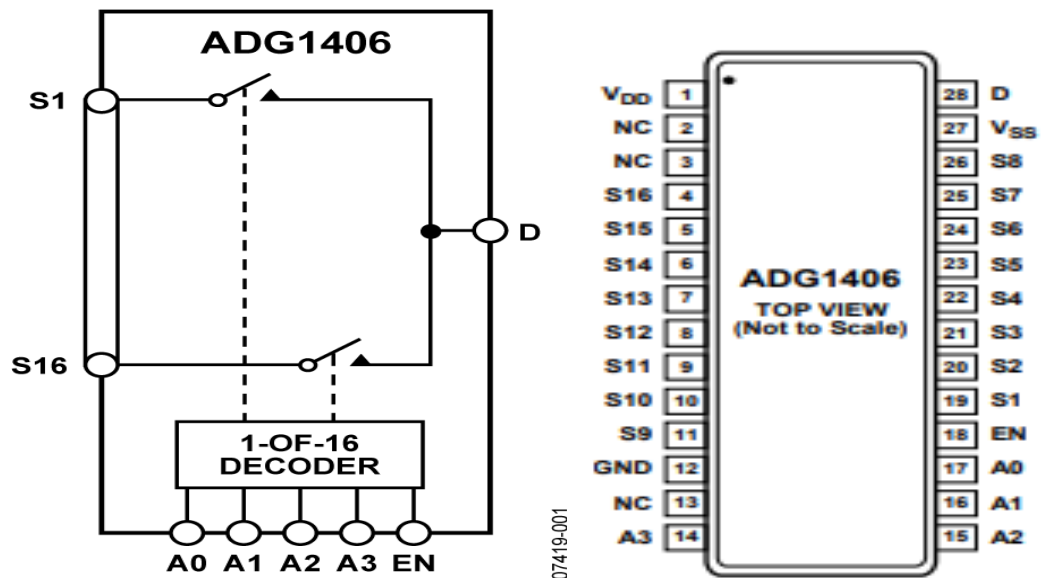


Рисунок 5.7 – Аналоговий перемикач (ADG1406)

Функціональне призначення:

- Перемикання між кількома аналоговими сигналами.
- Передача вибраного аналогового сигналу на вихідний канал.
- Забезпечення гнучкого вибору сигналів

Основні характеристики:

- Кількість вхідних каналів: 16.
- Опір комутації: 4 Ом.
- Максимальна вхідна напруга: ± 15 В.
- Напруга живлення: ± 15 В або 0–30 В.
- Час комутації: < 1 мкс.

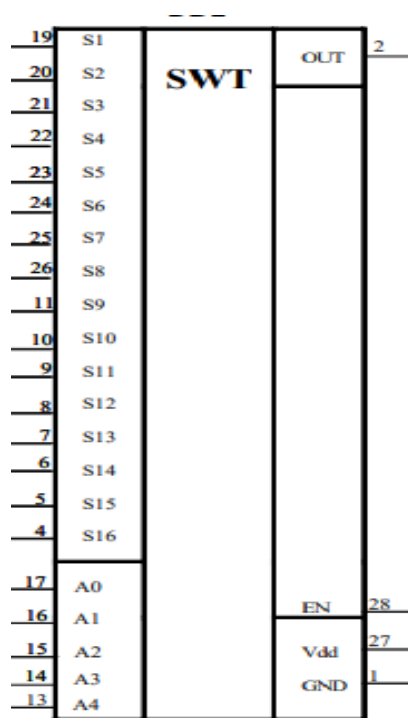


Рисунок 5.8 – Умовне графічне позначення аналогового перемикача (ADG1406)

Мікросхема ADG1406 функціонує як аналоговий мультиплексор, забезпечуючи комутацію одного з 16 вхідних сигналів до загального виходу OUT. Для вибору потрібного вхідного сигналу використовуються адресні лінії A0–A4, які визначають номер активного каналу. Керуючий сигнал EN активує мікросхему, дозволяючи передавати вибраний сигнал на вихід.

Таблиця 5.3. – Розшифровка виводів аналогового перемикача (ADG1406)

Номер виводу	Позначення
19–26, 11–4	S1–S16
17–13	A0–A4
2	OUT
28	EN
27	Vdd



- S1–S16 (виводи 19–26, 11–4): Це вхідні аналогові сигнали. Кожен із них може бути вибраний для передачі на загальний вихід через встановлення відповідної адреси.
- A0–A4 (виводи 17–13): Адресні лінії, які визначають, який із вхідних сигналів буде комутований до виходу. Бінарне значення на цих виводах задає номер активного входу.
- OUT (вивід 2): Це загальний вихід, на який передається вибраний сигнал із входів S1–S16. Забезпечує низькі втрати сигналу та високу точність передачі.
- EN (вивід 28): Сигнал дозволу, який активує мікросхему. При низькому рівні сигналу EN мікросхема переходить у неактивний стан, відключаючи всі входи від виходу.
- Vdd (вивід 27): Лінія живлення мікросхеми. Забезпечує стабільну роботу пристрою у визначеному діапазоні напруги.
- GND (вивід 1): Загальний провід, який використовується як базова точка для всіх потенціалів у схемі.

У стані очікування, коли сигнал EN неактивний, вихід OUT відключений від усіх вхідних сигналів.

Після активації сигналу EN мікросхема переходить у робочий стан, і адресні лінії A0–A4 задають, який із сигналів S1–S16 буде передано на вихід OUT. Мікросхема забезпечує низький рівень втрат сигналу та високу точність передачі завдяки спеціальній конструкції внутрішніх комутуючих елементів.

5.4 Аналого-цифровий перетворювач AD571

Мікросхема AD571 — це високоточний 10-бітний аналого-цифровий перетворювач (АЦП), який забезпечує перетворення аналогових сигналів у цифровий формат. Вона підходить для використання в системах обробки даних, вимірювальних пристроях та автоматизації.

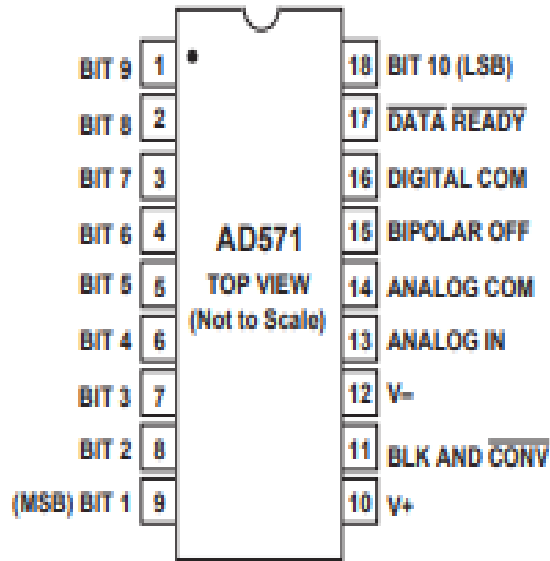


Рисунок 5.9 – Аналого-цифровий перетворювач (AD571)

Функціональне призначення:

- Преобразовує аналогові сигнали у цифровий вигляд для подальшої обробки мікропроцесором.
- Використовується для вимірювання фізичних параметрів (температури, тиску тощо), які передаються у вигляді аналогового сигналу.

Основні характеристики:

- Розрядність: 10 біт.
- Діапазон вхідної напруги: 0–10 В (однонаправлений) або ± 10 В
- Час перетворення: 25 мкс.
- Напруга живлення: ± 15 В ($V+$ та $V-$).
- Інтерфейс: Паралельний вихід даних для передачі мікропроцесору.

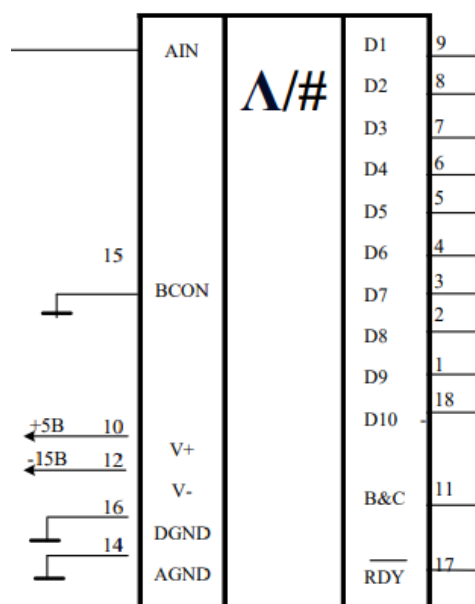


Рисунок 5.10. – Умовне графічне позначення аналого-цифрового перетворювача (AD571)

Аналого-цифровий перетворювач виконує ключову функцію у перетворенні аналогового сигналу в цифровий формат, придатний для подальшої обробки мікропроцесором або іншими цифровими пристроями. Пристрій приймає аналоговий сигнал через вхід AIN, який може надходити від сенсорів, датчиків або інших джерел аналогової інформації. Перетворення здійснюється шляхом дискретизації аналогового сигналу, після чого значення сигналу квантується і кодується у цифровий формат із розрядністю 10 біт. Це дозволяє точно відобразити рівень сигналу в цифровому коді.

Робота АЦП синхронізується за допомогою керуючих сигналів. Перетворення ініціюється через сигнал стробування, який активує процес конверсії. Протягом цього процесу АЦП аналізує вхідний аналоговий сигнал і виконує його перетворення на відповідний цифровий код. Як тільки перетворення завершено, на вихідному сигналі RDY (Ready) з'являється відповідний імпульс, що сигналізує про готовність даних

Цифровий код, сформований АЦП, подається на вихідні шини D0–D9, які можуть бути зчитані підключеним цифровим пристроєм. Завдяки цьому забезпечується інтеграція АЦП у складні системи збору даних, автоматизації або керування.

Особливістю роботи АЦП є його висока швидкість та точність, що дозволяє використовувати його у реальному часі для вимірювань і моніторингу. Завдяки простоті ініціалізації та синхронізації, цей пристрій легко інтегрується в різноманітні електронні системи, забезпечуючи ефективну взаємодію між аналоговими та цифровими компонентами

Таблиця 5.4 – Розшифровка виводів аналого-цифрового перетворювача (AD571)

Номер виводу	Позначення
1–9, 18	D1–D10
10	V+
11	B&C
12	V-
14	AGND
15	BCON

- D1–D10 — забезпечують передачу цифрових даних від аналого-цифрового перетворювача до системи. Кожен біт представляє відповідну позицію у цифровому слові. Взаємодія з іншими компонентами системи можлива завдяки стандартним цифровим інтерфейсам.
- V+ — забезпечує позитивне живлення мікросхеми, типове значення — +5В. Цей вивід підтримує роботу внутрішніх компонентів і стабільність перетворення.
- V- — забезпечує негативне живлення мікросхеми, використовується для роботи з аналоговими сигналами. Важливий для забезпечення правильного діапазону роботи АЦП.
- AGND — аналогова "земля", яка забезпечує стабільність для аналогової частини мікросхеми.
- BCON — вхід для управління конфігурацією блоку. Взаємодіє з контролерами для зміни режимів роботи АЦП.

- DGND — цифрова "земля", використовується для стабільності цифрових сигналів. Запобігає взаємним перешкодам між аналоговою і цифровою частинами мікросхеми.
- RDY — сигнал готовності, який повідомляє про завершення аналого-цифрового перетворення. Цей вивід часто використовується для синхронізації з іншими компонентами.

Аналого-цифровий перетворювач AD571 є ключовим компонентом системи для забезпечення зв'язку між аналоговими та цифровими пристроями. Він дозволяє мікропроцесору Intel 8088 працювати з аналоговими даними, які надходять, наприклад, від датчиків. У системі AD571 приймає аналоговий сигнал через мультиплексор ADG1406, перетворює його у цифровий код і передає на мікропроцесор для подальшої обробки.

5.5. Буферні мікросхеми 8282

Мікросхема 8282 відіграє важливу роль у забезпеченні ефективного обміну даними між мікропроцесором Intel 8088 та іншими компонентами системи, такими як пам'ять, периферійні пристрої або додаткові шини. Її головне призначення полягає в буферизації даних, що дозволяє зменшити навантаження на мікропроцесор і підтримувати стабільну роботу системи навіть у складних режимах роботи. Буферизація виконується шляхом тимчасового збереження інформації, яка передається або отримується мікропроцесором, що забезпечує гнучкість і стабільність обміну.

Одна з основних переваг мікросхеми 8282 полягає в її здатності працювати в двох напрямках: вона підтримує як запис даних у підключені пристрої, так і зчитування інформації з них. Це особливо важливо для динамічних систем управління, де потрібно швидко змінювати напрямок передачі інформації залежно від поточного стану системи.

Функціональне призначення:

- Виконує буферизацію даних між мікропроцесором і зовнішніми пристроями для зменшення затримок.
- Забезпечує двонаправлений обмін даними через шину.

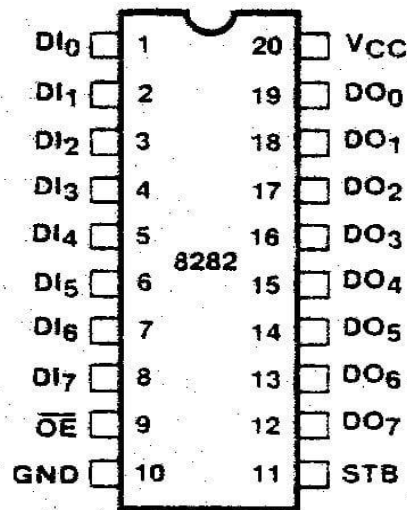


Рисунок 5.11. – Буферні мікросхеми (8282)

Основні характеристики:

- Кількість каналів: 8-бітний буфер.
- Режим роботи: Передача даних у двох напрямках.
- Час затримки: Низький, до 12 нс.
- Напруга живлення: +5 В.

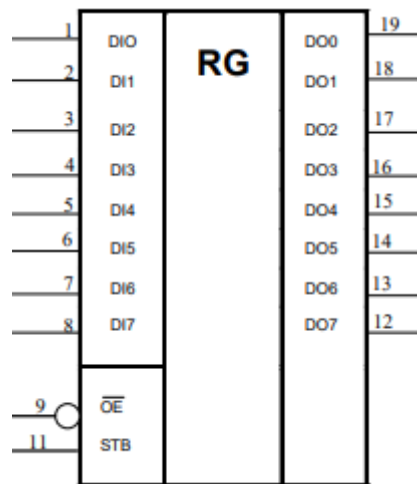


Рисунок 5.12 – Умовне графічне позначення буферних мікросхем (8282)

Мікросхема також забезпечує ізоляцію між мікропроцесором і підключеними компонентами, що дозволяє мінімізувати вплив взаємних перешкод і захистити мікропроцесор від перевантажень. Її використання сприяє підвищенню продуктивності системи, оскільки мікропроцесор може

зосередитися на виконанні обчислень, поки буферна мікросхема керує передачею даних.

Завдяки простоті інтеграції, високій швидкодії та гнучкості конфігурації, мікросхема 8282 є невід’ємним елементом у побудові сучасних мікропроцесорних систем. Вона знаходить застосування в автоматизованих системах управління, контролерах, комп’ютерних системах і будь-яких пристроях, де необхідно забезпечити надійний обмін даними між компонентами.

Таблиця 5.5. – Розшифровка виводів буферних мікросхем (8282)

Номер виводу	Позначення
1–8	DI0–DI7
9	\overline{OE}
11	STB
12–19	DO0–DO7

- DI0–DI7 (виводи 1–8): Ці виводи використовуються для введення даних у буферну мікросхему. Вони приймають цифрові сигнали з інших компонентів системи.
- DO0–DO7 (виводи 12–19): Вихідні виводи мікросхеми, через які передаються буферизовані дані. Забезпечують ізоляцію сигналів між компонентами.
- \overline{OE} (вивід 9): Сигнал дозволу роботи виходів. Коли сигнал активний, дані передаються з входів на виходи.
- STB (вивід 11): Сигнал запису, який фіксує введені дані у внутрішньому буфері.

Мікросхема 8282 є ключовим компонентом мікропроцесорних систем, оскільки забезпечує ефективну буферизацію даних між мікропроцесором та іншими пристроями, такими як пам’ять, периферійні модулі або інші шини.

Завдяки підтримці двонаправленого режиму роботи мікросхема дозволяє реалізувати як запис, так і зчитування даних, що є критично важливим для динамічних систем управління та збору інформації.

Вибір 8282 у складі мікропроцесорної системи обґрунтований її простотою інтеграції, високою швидкодією та здатністю забезпечувати надійний обмін даними навіть у складних умовах роботи. Буферизація, яку виконує мікросхема, дозволяє уникнути втрати даних під час передачі, а також підвищити загальну продуктивність системи. Саме ці характеристики роблять 8282 ідеальним вибором для побудови стабільних, ефективних і масштабованих мікропроцесорних систем.

5.6. Контролер шини M8286

Мікросхема M8286 — це 8-бітний двонаправлений буфер, який використовується для організації передачі даних між мікропроцесором і зовнішніми пристроями. Вона забезпечує можливість керування напрямком передачі через відповідний сигнал.

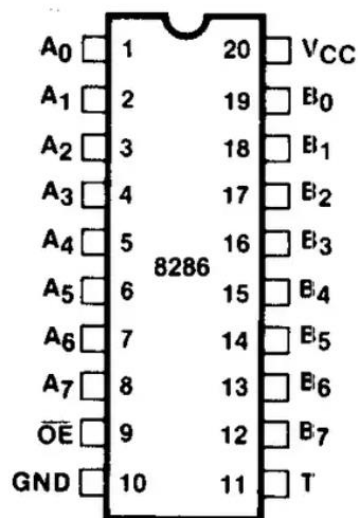


Рисунок 5.13 – Контролер шини (M8286)

Основні характеристики:

- Розрядність: 8 біт.
- Напруга живлення: +5 В.
- Час затримки: До 15 нс.
- Режим роботи: Двонаправлена передача даних між шинами А та В.

- Керування напрямком: Через сигнал DIR.

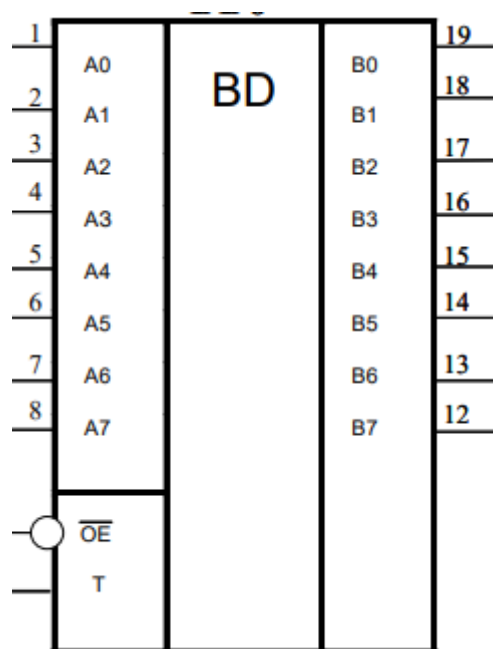


Рисунок 5.14 – Умовне графічне позначення контролера шини (M8286)

Мікросхема M8286 використовується для організації ефективної двонаправленої передачі даних між мікропроцесором Intel 8088 і зовнішніми пристроями. Сигнал DIR задає напрямок передачі: від шини A до B або навпаки. Завдяки буферизації даних і низькому часу затримки, вона забезпечує стабільний та швидкий обмін інформацією в системі. Мікросхема 8282 працює в режимах введення, зберігання та передачі даних. У режимі введення дані з виводів DI0–DI7 записуються у внутрішній буфер за допомогою сигналу STB. У режимі зберігання дані залишаються у буфері до активації сигналу OE. У режимі передачі буферизовані дані передаються на виходи DO0–DO7.

Таблиця 5.6. – Таблиця виводів контролера шини (M8286)

Номер виводу	Позначення
1–8	A0–A7
19–12	B0–B7
9	OE

- A0–A7 (выводи 1–8): Вхідні лінії даних, через які сигнали передаються до мікросхеми. Вони забезпечують прийом даних із зовнішніх пристроїв.
- B0–B7 (выводи 19–12): Вихідні лінії даних, через які буферизовані сигнали передаються до наступних компонентів системи.
- OE (вивід 9): Сигнал дозволу роботи виходів. Активує передачу даних із входів на виходи.
- T (вивід 11): Сигнал управління напрямком передачі даних. Забезпечує можливість двостороннього обміну даними.
- GND (вивід 10): Загальний провід для заземлення мікросхеми.
- VCC (вивід 20): Лінія живлення мікросхеми.

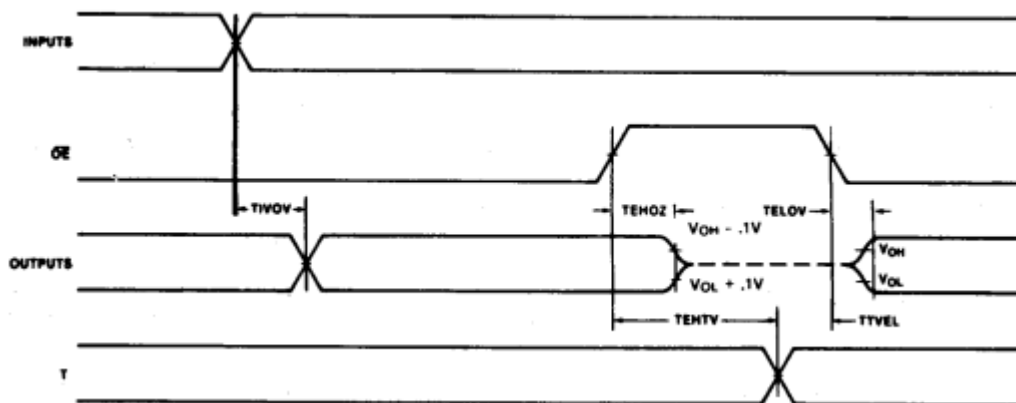


Рисунок 5.15. – Часова діаграма роботи мікросхеми M8286 у режимі передачі даних:

Часова діаграма демонструє взаємодію сигналів між основними виводами мікросхеми: Inputs, Outputs, OE (дозвіл виходів) та T (керування напрямком передачі).

- Inputs (вхідні сигнали): Активуються на початку роботи, визначаючи, які дані будуть передані.
- OE (Output Enable): Сигнал дозволу роботи виходів активує буфер і дозволяє передачу даних. На діаграмі видно, що для активного

стану OE має залишатися у визначеному рівні протягом усього інтервалу передачі.

- Outputs (вихідні сигнали): Вихідні дані починають з'являтися після певного часу затримки (TVOH) після активації сигналу OE. Після завершення інтервалу сигнал повертається до вихідного стану.
- T (Control): Визначає напрямок передачі. Під час активного стану передача даних здійснюється у напрямку від входів до виходів. Зміна стану сигналу T може змінити логіку передачі.

Активізація сигналу OE дозволяє передавати вхідні дані на виходи через внутрішній буфер мікросхеми. Напрямок передачі регулюється сигналом T, забезпечуючи гнучкість під час обміну даними між компонентами системи. Часові параметри TVOH та TVEL визначають затримку між сигналами, що забезпечує узгодженість під час роботи на високій швидкості.

5.7. Мультиплексор 74HCT257

Мікросхема 74HCT257 — це чотиріканальний двовходовий мультиплексор із тристаном виходів. Вона дозволяє вибирати між двома наборами входів (1x, 2x) для передачі даних на вихід (Y). Завдяки своїй простоті і швидкодії, 74HCT257 використовується для комутації даних у цифрових системах.

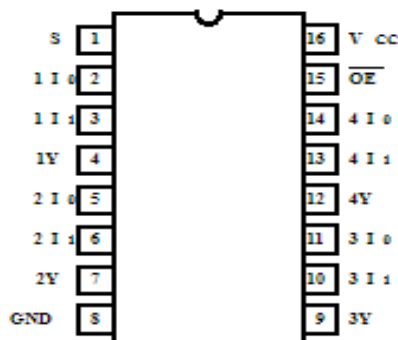


Рисунок 5.16 – Мультиплексор (74HCT257)

Основні характеристики:

- Кількість каналів: 4.

- Входи: Два входи на кожен канал.
- Виходи: Один на кожен канал.
- Напруга живлення: 4,5–5,5 В.
- Максимальна частота роботи: До 20 МГц.
- Сигнал вибору каналу: Лінія А.

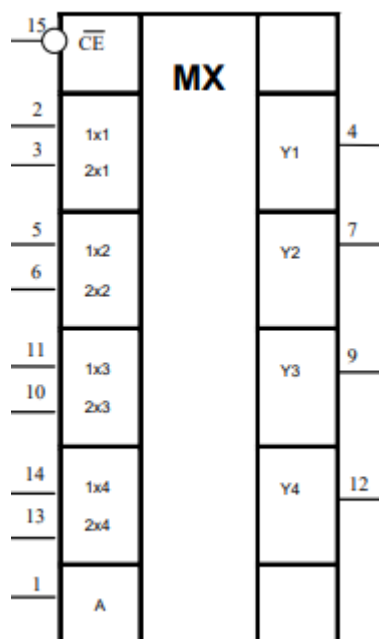


Рисунок 5.17 – Умовне графічне позначення мультиплексора (74НСТ257)

Мікросхема 74НСТ257 виконує важливу функцію комутації даних у мікропроцесорних системах, зокрема в системах на базі процесора Intel 8088. Вона забезпечує перемикання між двома джерелами даних та їх передачу на чотири окремі виходи, що дозволяє ефективно розподіляти і обробляти інформацію в умовах багатозадачності. Управління вибором джерела здійснюється за допомогою керуючої лінії А, стан якої визначає, які дані будуть передані на вихід. Це дає змогу адаптувати роботу мікросхеми до конкретних потреб системи, перемикаючи потоки даних залежно від умов або пріоритетів.

Одна з основних переваг 74НСТ257 — це здатність швидко і без затримок переключати джерела даних, що дозволяє забезпечувати оптимальне використання апаратних ресурсів у системі. Крім того, завдяки інтеграції

функцій мультиплексування, мікросхема зменшує кількість необхідних компонентів, що спрощує конструкцію системи та знижує її вартість. Висока швидкодія 74НСТ257 робить її придатною для роботи в режимах реального часу, де потрібна швидка обробка інформації.

У мікропроцесорних системах на базі Intel 8088 ця мікросхема забезпечує надійне управління потоками даних, дозволяючи ефективно працювати з пам'яттю, периферійними пристроями або іншими підсистемами.

Таблиця 5.7. – Таблиця виводів мультиплексора (74НСТ257)

Номер виводу	Позначення
1	A
2–3, 5–6, 11–14	1x1, 2x1, 1x2, 2x2, 1x3, 2x3, 1x4, 2x4
4, 7, 9, 12	Y1, Y2, Y3, Y4
15	\overline{CE}

- A (вивід 1): Управління вибором джерела даних. Дозволяє перемикання між наборами даних.
- 1x1, 2x1 (виводи 2–3): Вхідні сигнали першого мультиплексора.
- 1x2, 2x2 (виводи 5–6): Вхідні сигнали другого мультиплексора.
- 1x3, 2x3, 1x4, 2x4 (виводи 11–14): Вхідні сигнали третього і четвертого мультиплексорів.
- Y1, Y2, Y3, Y4 (виводи 4, 7, 9, 12): Вихідні сигнали мультиплексора.
- \overline{CE} (вивід 15): Активно-низький сигнал дозволу роботи мікросхеми.

Мікросхема 74НСТ257 дозволяє комутацію між двома наборами вхідних даних за допомогою сигналу A. При активації сигналу \overline{CE} , один із двох наборів даних передається на відповідний вихід Y1–Y4.

5.8. Постійна пам'ять, АТ28С16

Мікросхема AT28C16 — це електрично програмована постійна пам'ять (EEPROM) об'ємом 2 кілобайти (16 Кбіт), яка використовується для зберігання програмного коду, конфігураційних даних або іншої інформації, що не повинна втрачатися після вимкнення живлення. Основною особливістю цієї мікросхеми є можливість багаторазового перезапису, що забезпечує гнучкість і зручність у процесі розробки та обслуговування електронних систем. Дані записуються або зчитуються через стандартну шину даних, що дозволяє легко інтегрувати AT28C16 у мікропроцесорні системи.

AT28C16 підтримує електричне стирання та запис, що усуває необхідність використання ультрафіолетового випромінювання, як у традиційних EPROM. Завдяки цьому програмування та перезапис стають швидшими й простішими.

Ще однією перевагою AT28C16 є довговічність даних — інформація зберігається до 10 років, навіть без живлення.

Крім того, мікросхема підтримує від 100 тисяч циклів запису/стирання, що робить її ідеальною для систем із частими оновленнями даних, такими як конфігураційні параметри або таблиці.

Завдяки простоті інтеграції, низькому енергоспоживанню та високій надійності, AT28C16 широко використовується в мікропроцесорних системах, контролерах, пристроях автоматизації та інших електронних системах, де потрібне надійне і тривале зберігання інформації.

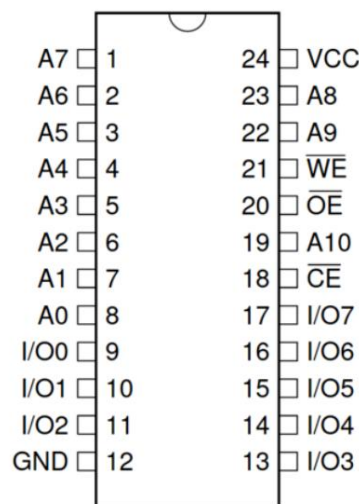


Рисунок 5.18 – Постійна пам'ять (ROM, AT28C16)

Основні характеристики:

- Об'єм пам'яті: 2 Кбайт (16 Кбіт).
- Ширина шини даних: 8 біт.
- Адресний простір: 11 ліній адреси (A0–A10).
- Напруга живлення: +5 В.
- Час доступу: 200 нс.
- Технологія: CMOS, низьке енергоспоживання.

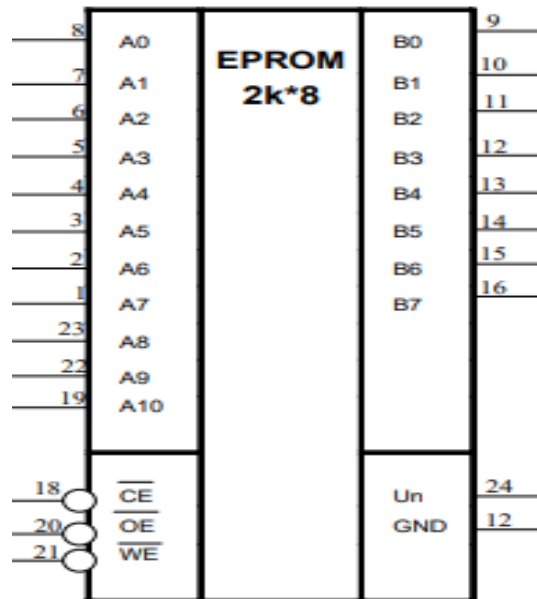


Рисунок 5.19. – Умовне графічне позначення постійної пам'яті (ROM, AT28C16)

Мікросхема AT28C16 використовується як постійний носій програмного забезпечення або даних у мікропроцесорних системах, забезпечуючи зберігання критично важливої інформації, такої як програми, таблиці чи конфігураційні параметри. У системах на базі Intel 8088 вона виконує роль швидкого й надійного джерела інструкцій і даних, які необхідні для роботи процесора. Лінії адреси A0–A10 забезпечують доступ до конкретної комірки пам'яті, що дозволяє організувати точний і ефективний доступ до збережених даних. Лінії даних D0–D7 використовуються для передачі даних у двох напрямках: від процесора до пам'яті (при записі) або від пам'яті до процесора (при зчитуванні).

Інтеграція AT28C16 у систему забезпечується за допомогою керуючих сигналів CE (Chip Enable), OE (Output Enable) та WE (Write Enable), які синхронізують доступ до пам'яті, забезпечуючи її швидкодію та точність роботи. Сигнал CE активує мікросхему для роботи, OE дозволяє зчитувати дані, а WE забезпечує запис нової інформації в пам'ять. Завдяки низькому енергоспоживанню та високій довговічності даних, AT28C16 ідеально підходить для систем, де потрібне збереження інформації без втрати даних після вимкнення живлення.

Таблиця 5.8 – Таблиця виводів постійної пам'яті (ROM, AT28C16)

Номер виводу	Позначення
1–8	B0–B7
9–16	A0–A7
17–19	A8–A10
18	\overline{CE}
20	\overline{OE}
21	\overline{WE}
24	Un
12	GND

- B0–B7 (виводи 1–8): Ці виводи забезпечують двосторонню передачу даних між мікросхемою та зовнішнім середовищем. Вони використовуються для запису та зчитування інформації.
- A0–A7 (виводи 9–16): Ці адресні виводи дозволяють вибрати комірку пам'яті для виконання операцій запису або зчитування.
- A8–A10 (виводи 17–19): Старші адресні виводи, які розширюють адресний простір мікросхеми, забезпечуючи доступ до 2×16 блоків пам'яті.
- CE (вивід 18): Сигнал вибору мікросхеми, який активує її для виконання операцій. При низькому рівні сигналу мікросхема готова до роботи.

- OE (вивід 20): Сигнал дозволу виходу, який активує передачу даних на виводи B0–B7 під час зчитування.
- WE (вивід 21): Сигнал дозволу запису, який активує процес запису даних у вибрану комірку пам'яті.
- Un (вивід 24): Резервний вивід, який не використовується у стандартних конфігураціях.
- GND (вивід 12): Загальний провід, який забезпечує заземлення мікросхеми.

\overline{CE} Controlled

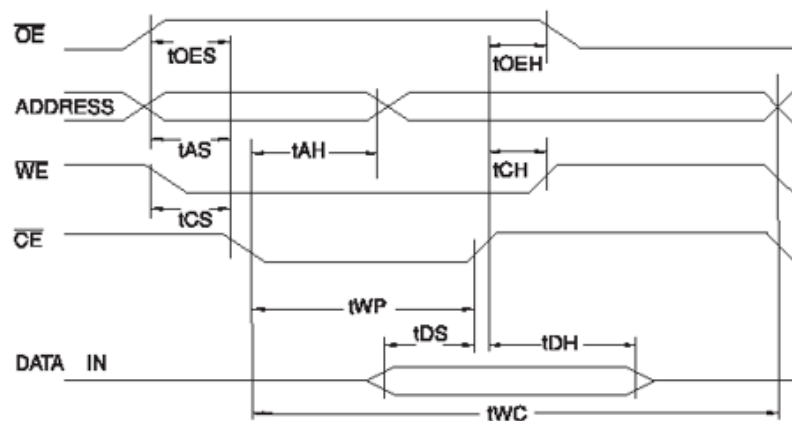


Рисунок 5.20 – Часова діаграма роботи мікросхеми AT28C16 у режимі зчитування

Ця діаграма демонструє порядок активації сигналів CE, OE та WE під час зчитування даних. Сигнал CE активує мікросхему, OE забезпечує передачу даних, а WE залишається в неактивному стані, щоб уникнути запису.

$\overline{\text{WE}}$ Controlled

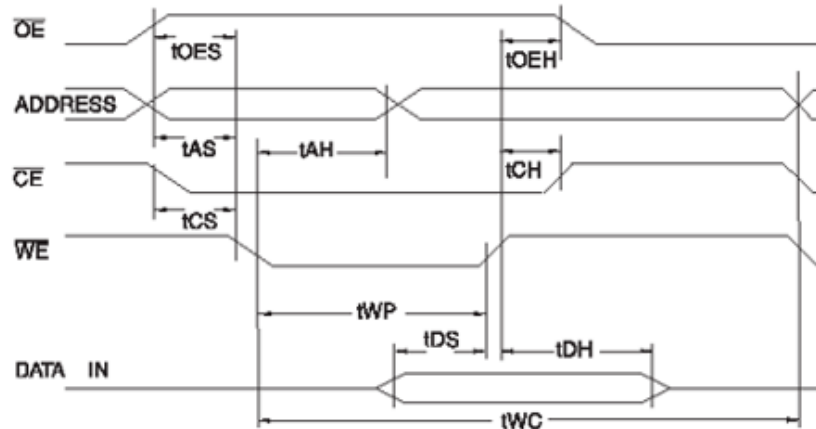


Рисунок 5.21 – Часова діаграма роботи мікросхеми AT28C16 у режимі запису

На цій діаграмі видно, як сигнал WE активується для запису даних, а сигнали CE та OE синхронізують цей процес. Часові затримки між сигналами забезпечують коректну роботу мікросхеми.

У режимі зчитування активується адресний вивід, що визначає комірку пам'яті, з якої потрібно отримати дані. Сигнал OE дозволяє передати дані на виводи B0–B7. У режимі запису активується сигнал WE, і дані з виводів B0–B7 записуються у вибрану комірку пам'яті.

5.9. Оперативна пам'ять 62566

Мікросхема 62566 — це статична оперативна пам'ять (SRAM) об'ємом 8 Кбайт (64 Кбіт), яка використовується для тимчасового зберігання даних, необхідних для роботи мікропроцесорної системи. Завдяки високій швидкодії і збереженню даних при відсутності циклів оновлення, вона ідеально підходить для систем реального часу.

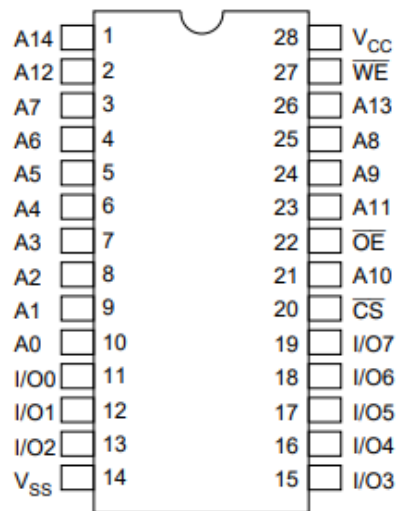


Рисунок 5.22 – Оперативна пам'ять (RAM, 62566)

Основні характеристики:

- Об'єм пам'яті: 8 Кбайт (64 Кбіт).
- Ширина шини даних: 8 біт.
- Адресний простір: 13 ліній адреси (A0–A12).
- Напруга живлення: +5 В.
- Час доступу: До 70 нс.
- Технологія: CMOS.

Мікросхема 62566 є оперативним запам'ятовуючим пристроєм (RAM), який забезпечує зберігання тимчасових даних, необхідних для виконання програм, що обробляються мікропроцесором Intel 8088. Цей тип пам'яті призначений для зберігання проміжних результатів обчислень, змінних та інших динамічних даних, які постійно оновлюються під час роботи системи. Ємність мікросхеми становить 8 Кбайт (64 Кбіт), що дозволяє розміщувати значний обсяг інформації для роботи мікропроцесора.

Мікросхема 62566 має швидкий час доступу, що робить її ідеальною для використання у задачах реального часу, де затримка доступу до даних може критично вплинути на загальну продуктивність системи. Вона широко використовується в мікропроцесорних системах, автоматизованих пристроях, системах управління та збору даних, забезпечуючи їх стабільну та ефективну роботу.

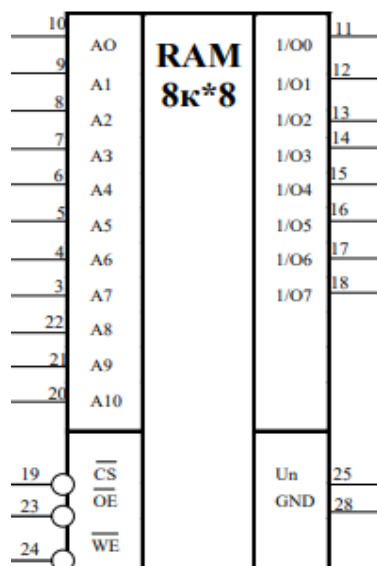


Рисунок 5.23 – Умовне графічне позначення оперативної пам'яті (RAM, 62566)

Лінії адреси A0–A12 забезпечують доступ до конкретної комірки пам'яті, що дозволяє процесору точно визначати, з якою областю пам'яті працювати. Лінії даних D0–D7 забезпечують двонаправлену передачу даних, що дозволяє як зчитувати, так і записувати інформацію в пам'ять. Завдяки цьому мікросхема інтегрується у мікропроцесорну систему для забезпечення високошвидкісного доступу до даних.

Таблиця 5.9. – Таблиця виводів оперативної пам'яті (RAM, 62566)

Номер виводу	Позначення
3–10	A0–A7
20–22	A8–A10
11–18	I/O0–I/O7
19	\overline{CE}
23	\overline{OE}
24	\overline{WE}
25	Un
28	GND

- A0–A7 (виводи 3–10): Відповідають за молодші адреси пам'яті та дозволяють доступ до відповідних блоків.
- A8–A10 (виводи 20–22): Старші адресні виводи, що забезпечують доступ до розширеного адресного простору.
- I/O0–I/O7 (виводи 11–18): Дані передаються через ці двонаправлені виводи для виконання операцій запису або зчитування.
- \overline{CE} (вивід 19): Сигнал вибору мікросхеми, що активує її для виконання операцій. При низькому рівні сигналу мікросхема готова до роботи.
- \overline{OE} (вивід 23): Сигнал дозволу виходу, який активує передачу даних під час операції зчитування.
- \overline{WE} (вивід 24): Сигнал запису, який активує запис даних у пам'ять мікросхеми.
- Un (вивід 25): Резервний вивід
- GND (вивід 28): Загальний провід для заземлення мікросхеми.

Керуючі сигнали CE (Chip Enable), OE (Output Enable) і WE (Write Enable) забезпечують синхронізацію операцій читання та запису. CE активує пам'ять для роботи, OE дозволяє процесору зчитувати дані з пам'яті, а WE ініціює запис інформації. Завдяки такій структурі управління мікросхема гарантує високу швидкість виконання операцій, мінімізуючи затримки під час обробки інформації.

5.10. Висновок до принципової схеми

Принципова схема системи керування технологічним процесом підігріву води побудована на основі мікропроцесорної архітектури. Вона складається з центрального мікропроцесора, оперативної пам'яті, постійної пам'яті, аналогових та цифрових модулів введення/виведення, а також комутаційних компонентів. Основними складовими системи є:

1. Центральний мікропроцесор (Intel 8088): Мікропроцесор виконує основну обчислювальну функцію. Він зчитує дані з оперативної та постійної пам'яті, обробляє інформацію, отриману від датчиків, та генерує команди для виконавчих пристроїв. Управління потоками даних реалізується за допомогою шин адреси, даних і керування.

						Арк.
					ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ	
Зм..	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		79

2.Периферійний інтерфейс (8255): Цей модуль забезпечує підключення зовнішніх пристроїв до мікропроцесорної системи. Він обробляє сигнали від сенсорів і виконавчих механізмів, передаючи їх до мікропроцесора або отримуючи команди з центрального блоку.

3.Буферні мікросхеми (8282):Буфери забезпечують стабільність передачі даних між мікропроцесором і іншими компонентами. Вони мінімізують вплив перешкод і зменшують навантаження на центральний процесор.

4.Мультиплексор (ADG1406): Мультиплексор комутує аналогові сигнали від кількох датчиків, дозволяючи оптимально використовувати аналогово-цифровий перетворювач. Він підключає вибраний аналоговий сигнал до вхідного каналу АЦП.

5.Аналого-цифровий перетворювач (AD571): АЦП перетворює аналогові сигнали від датчиків (наприклад, температури або тиску) у цифровий формат, який може бути оброблений мікропроцесором. Він забезпечує високу точність і швидкодію.

6.Оперативна пам'ять (62566): SRAM використовується для тимчасового зберігання даних, необхідних для виконання програм і обробки інформації. Завдяки швидкому доступу ця пам'ять ідеально підходить для задач реального часу.

7.Постійна пам'ять (AT28C16): EPROM зберігає програмне забезпечення та конфігураційні дані системи. Вона забезпечує довготривале зберігання інформації навіть у разі відключення живлення.

8. Контролер шини даних (M8286): Контролер забезпечує двонаправлену передачу даних між компонентами системи, керуючи напрямком передачі через сигнал DIR. Він синхронізує роботу мікропроцесора із зовнішніми пристроями.

9. Комутатор даних (74HCT257): Комутатор дозволяє вибирати джерела даних для передачі на мікропроцесор чи інші вузли системи. Це забезпечує оптимізацію роботи системи та ефективний розподіл ресурсів.

Система функціонує на основі алгоритмів, збережених у постійній пам'яті. Мікропроцесор отримує дані від датчиків через мультиплексор і АЦП, обробляє їх і приймає рішення про керування виконавчими пристроями.

6. РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ

У сучасних автоматизованих системах управління важливу роль відіграють засоби моніторингу та візуалізації. SCADA-системи забезпечують не лише автоматизацію процесів, але й створюють зручний інтерфейс для оператора, дозволяючи в реальному часі контролювати стан системи, аналізувати її роботу та приймати обґрунтовані рішення.

Цей розділ присвячений аналізу роботи SCADA-системи, реалізованої для автоматизованого управління температурою у котельній установці. На основі мнемосхем, трендів і додаткових функціональних модулів, таких як імітація аварійних ситуацій і налаштування ПД-регулятора, розглядається, як система забезпечує ефективність управління, стабільність процесу та адаптацію до змінних умов.

Особливу увагу приділено:

- Візуалізації основних параметрів роботи системи, таких як температура, тиск і витрати.
- Інтерфейсу для аналізу динаміки процесу через тренди.
- Можливостям тестування системи в аварійних ситуаціях.
- Налаштуванню параметрів регулювання для досягнення оптимальної продуктивності.

Метою розділу є продемонструвати, як SCADA-система дозволяє ефективно інтегрувати всі компоненти автоматизації в єдину платформу, забезпечуючи високу точність і надійність технологічного процесу.

6.1 Мнемосхема системи

Мнемосхема є одним із ключових елементів SCADA-системи, що забезпечує наочне представлення роботи автоматизованої системи управління температурою. Завдяки їй оператор має змогу спостерігати за станом усіх компонентів системи в реальному часі, аналізувати основні показники й виконувати оперативне керування.

На мнемосхемі зображено три котли, які інтегровані в єдиний технологічний процес. Кожен котел має індивідуальні датчики, що вимірюють температуру та тиск на вході і виході. Дані з цих датчиків передаються в

					<i>ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		81

систему і відображаються на екрані у вигляді числових значень та графічних індикаторів.

Це дозволяє оператору оцінювати стан кожного котла окремо та всього комплексу загалом.

Окрім котлів, мнемосхема також показує стан трубопроводів і клапанів, які забезпечують циркуляцію теплоносія. Клапани, розташовані в ключових точках системи, дозволяють контролювати потік рідини, а їхній поточний стан (відкрито чи закрито) чітко позначений на схемі. Ця інформація критично важлива для підтримання стабільної роботи системи, особливо в умовах зміни навантажень.

Система також відображає основні параметри теплоносія, такі як температура та тиск, які моніторяться в реальному часі. Для візуалізації цих даних використовуються цифрові індикатори та графічні шкали, які позначають допустимі діапазони роботи. Зелені зони шкал вказують на нормальний стан, жовті — на необхідність уваги, а червоні сигналізують про аварійний стан.

У разі виявлення відхилень мнемосхема автоматично генерує тривожні сигнали, які відображаються на екрані у вигляді змін кольору індикаторів або текстових повідомлень. Це дозволяє оператору миттєво вжити заходів для відновлення нормальної роботи системи. Такі інтегровані функції значно підвищують ефективність моніторингу та безпеку експлуатації.

Інтерактивний інтерфейс мнемосхеми дозволяє не лише контролювати, але й управляти виконавчими механізмами. Оператор може змінювати параметри роботи котлів, відкривати або закривати клапани та встановлювати нові уставки температури або тиску безпосередньо через мнемосхему. Це забезпечує повний цикл керування без необхідності додаткових засобів чи інтерфейсів.

Мнемосхема також інтегрується з іншими модулями SCADA-системи, такими як тренди та модуль імітації аварійних ситуацій. Це дозволяє оператору не лише контролювати поточний стан системи, але й аналізувати історичні дані. Наприклад, за допомогою трендів можна відстежувати зміни параметрів температури та тиску в динаміці, оцінювати ефективність роботи котлів та проводити профілактичний аналіз можливих відхилень.

					<i>ELIT 8.171.00.10.159 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		82

Важливою перевагою мнемосхеми є можливість її кастомізації відповідно до потреб системи. Наприклад, можна додати нові індикатори, візуалізувати додаткові трубопроводи або інтегрувати нові датчики. Це робить мнемосхему універсальним інструментом, здатним адаптуватися.

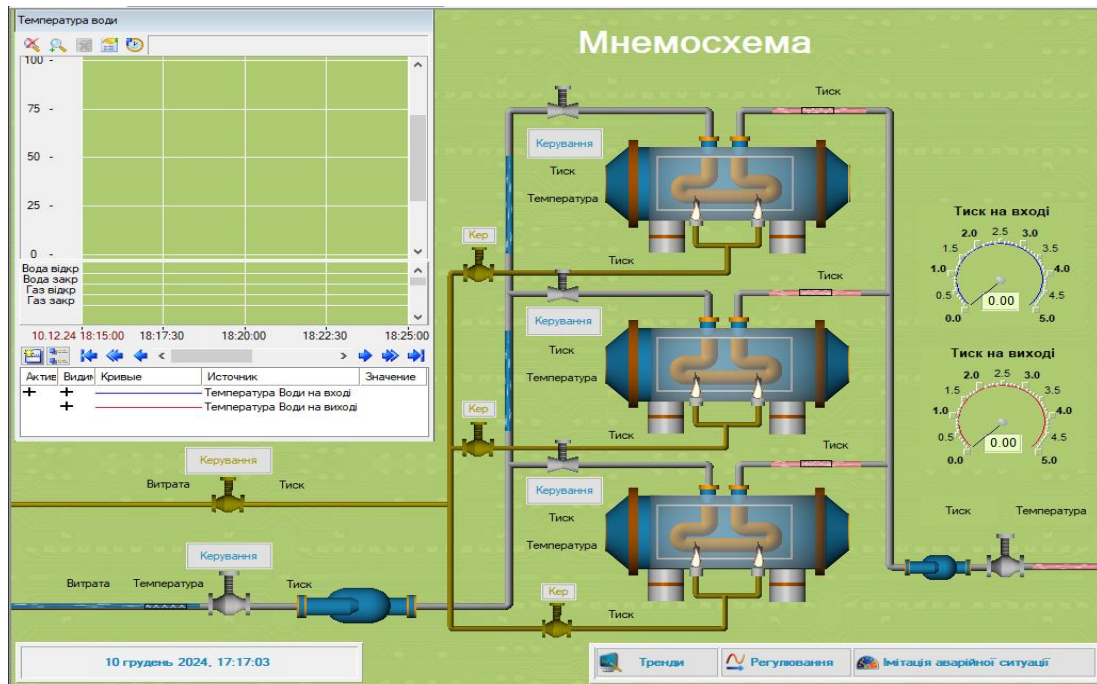


Рисунок 6.1 – Мнемосхема системи автоматизованого управління

6.2 Візуалізація трендів

Візуалізація трендів є важливим елементом SCADA-системи, який дозволяє аналізувати динаміку роботи системи в реальному часі. Тренди відображають зміни основних параметрів, таких як температура, тиск і витрата теплоносія, що дає змогу не лише контролювати поточний стан системи, але й прогнозувати її поведінку в різних умовах.

На екрані трендів оператор бачить графічні криві, які ілюструють зміни параметрів за певний період часу. Для кожного параметра відведена окрема крива, що має відповідний колір, дозволяючи легко розрізняти їх навіть при значній кількості одночасно відображених даних. Наприклад, температура

котла №1 може бути позначена червоною лінією, тиск — зеленою, а витрата теплоносія — синьою.

Тренди дозволяють оператору виявляти відхилення від норми на ранніх етапах, навіть якщо поточні значення залишаються в допустимому діапазоні. Наприклад, якщо температура теплоносія поступово знижується, це може свідчити про погіршення роботи нагрівального елемента, і система потребуватиме технічного обслуговування.

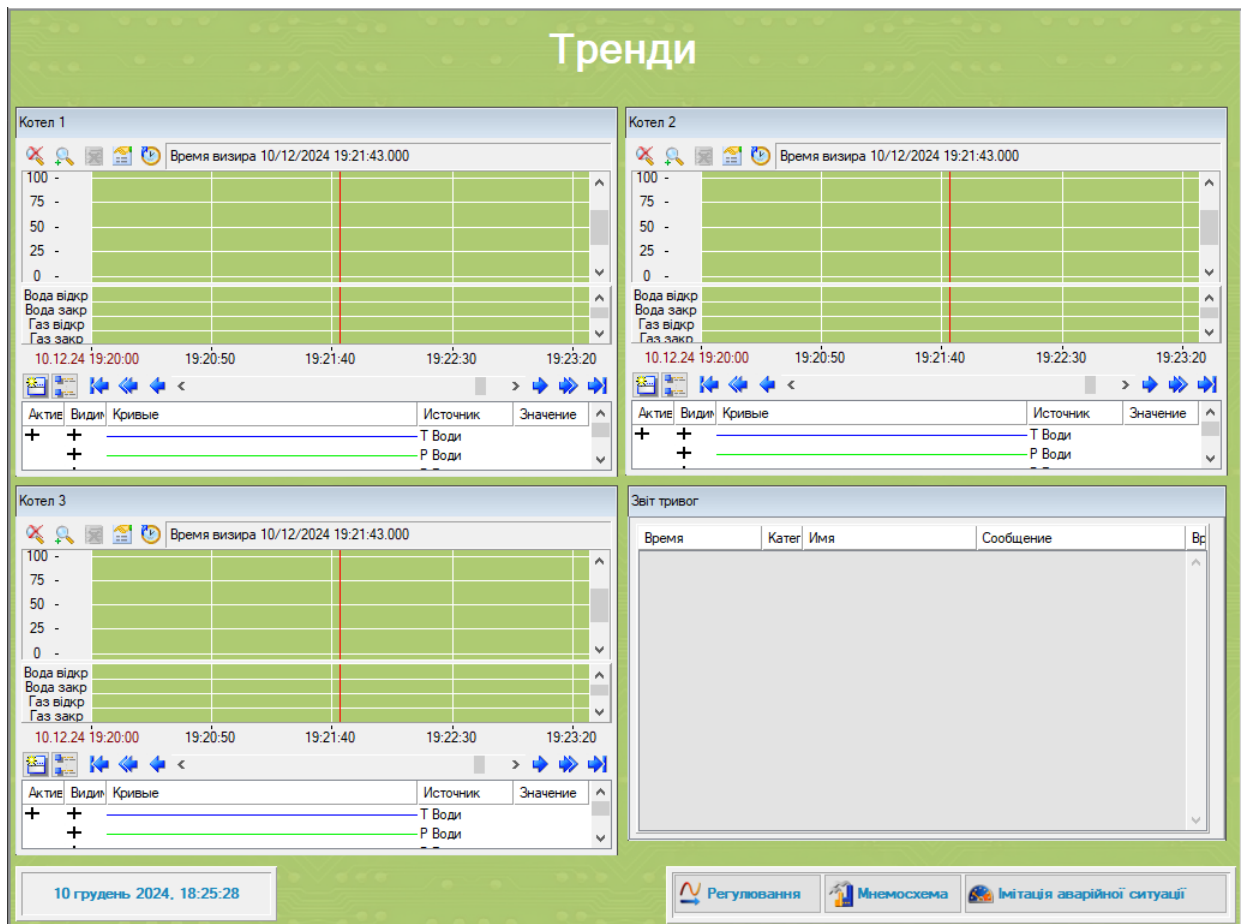


Рисунок 6.2 – Тренди параметрів системи

Окрім моніторингу в реальному часі, SCADA-система дозволяє переглядати історичні дані трендів. Це корисно для аналізу аварійних ситуацій, оцінки ефективності коригувальних дій та планування профілактичних заходів. Наприклад, аналіз трендів може допомогти визначити час і причини коливань тиску в системі, що дозволить уникнути подібних проблем у майбутньому.

Для зручності аналізу тренди супроводжуються інструментами масштабування, зміни інтервалу часу та додавання маркерів. Це дозволяє зосередитись на критичних моментах, таких як раптові коливання параметрів або досягнення аварійних значень.

Ще однією перевагою трендів є інтеграція з іншими модулями SCADA-системи. Наприклад, у разі аварії на трендах автоматично позначаються моменти часу, коли параметри вийшли за межі допустимих значень. Це дозволяє оператору швидко перейти до аналізу причин і наслідків події.

6.3 Імітація аварійних ситуацій

Для перевірки ефективності роботи системи управління температурою розроблено модуль імітації аварійних ситуацій. Цей модуль дозволяє тестувати реакцію системи на критичні відхилення параметрів у контрольованих умовах, без ризику для реального обладнання. Завдяки цьому можна оцінити коректність роботи алгоритмів управління, а також перевірити дії оператора під час аварій.

Імітація аварійних ситуацій виконується з метою:

- Тестування роботи виконавчих механізмів під час виникнення аварійних станів, таких як перевищення температури або тиску.
- Визначення швидкості реагування системи на зміни параметрів.
- Аналізу роботи ПД-регулятора за умов раптових збурень.
- Оцінки дій оператора під час усунення наслідків аварії.
- Типові сценарії імітації

Модуль імітації дозволяє налаштовувати різні сценарії аварій, зокрема:

- Перевищення тиску в системі: Моделюється різке зростання тиску вище допустимого значення. Система має автоматично зупинити нагрівальні елементи, закрити клапани та сповістити оператора про проблему.
- Зниження температури теплоносія: Створюється сценарій раптового падіння температури через припинення подачі гарячої води. ПД-регулятор повинен швидко компенсувати зниження температури.

					<i>ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		85

- Вихід з ладу одного з котлів: Моделюється ситуація, коли один із котлів припиняє функціонування. Система повинна перерозподілити навантаження між іншими котлами, зберігаючи стабільність параметрів.

Реалізація імітації в SCADA-системі

На мнемосхемі оператор може активувати імітацію через спеціальний інтерфейс. Під час імітації система фіксує всі параметри в реальному часі, записуючи їх у журнал подій для подальшого аналізу. Оператор має змогу бачити, як змінюються значення температури, тиску та стан виконавчих механізмів.

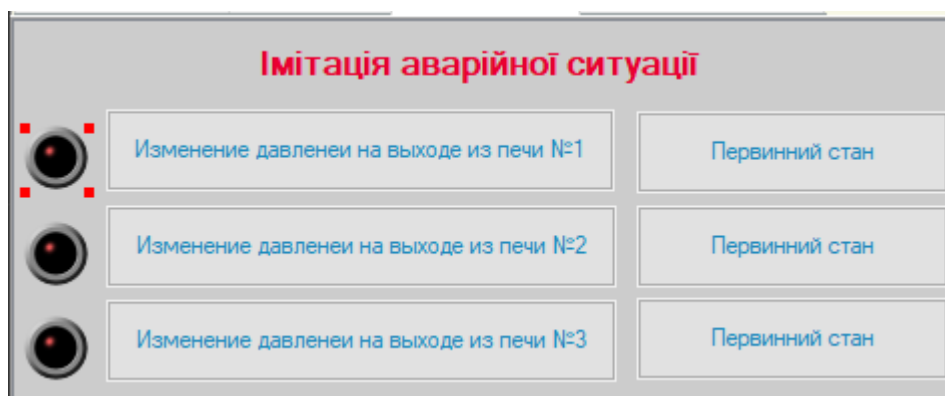


Рисунок 6.3 – Інтерфейс імітації аварійних ситуацій

Використання модуля імітації дозволяє:

- Знизити ризики реальних аварій завдяки їхньому попередньому тестуванню.
- Вдосконалити алгоритми роботи ПД-регулятора та інших компонентів системи.
- Підвищити рівень підготовки операторів до роботи в екстремальних умовах.

6.4. Основи роботи ПД-регуляторів у системі SCADA

ПД-регулятори для контролю температури та тиску є ключовими елементами SCADA-системи, які забезпечують автоматичне регулювання

					ЕлІТ 8.171.00.10.159 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		86

технологічних параметрів. Їх основною метою є підтримання стабільності процесу, швидке реагування на змінні умови та забезпечення безпеки системи.

Регулятори температури і тиску використовуються для:

- Контролю температури теплоносія: підтримка заданих значень температури, що забезпечує ефективне функціонування нагрівальних елементів.
- Стабілізації тиску: контроль подачі газу та води для підтримання безпечних умов експлуатації.

Інтеграція ПІД-регуляторів у SCADA-систему дозволяє:

- Візуалізувати роботу системи в реальному часі.
- Здійснювати оперативне налаштування параметрів регуляторів.
- Реагувати на відхилення параметрів за допомогою сигналізації та аварійної зупинки.

У цьому розділі розглядаються особливості роботи регуляторів температури та тиску, налаштування їх параметрів, моніторинг у реальному часі та функціонал аварійної зупинки.

6.4.1. Принцип роботи ПІД-регуляторів

ПІД-регулятори температури та тиску функціонують на основі динамічної обробки сигналів, що надходять від датчиків, та генерують коригувальні дії для забезпечення стабільності процесу. Обидва регулятори використовують три основні компоненти: пропорційний (P), інтегральний (I) та диференціальний (D), які дозволяють ефективно реагувати на зміни в системі.

ПІД-регулятор температури підтримує стабільну температуру теплоносія шляхом управління подачею води та газу.

- Пропорційний компонент (KP): Забезпечує швидке реагування на поточне відхилення температури від заданого значення.
- Інтегральний компонент (KI): Компенсує накопичені помилки, викликані тривалими відхиленнями від уставки.
- Диференціальний компонент (KD): Передбачає зміни температури, реагуючи на швидкість її зміни.

Вхідні параметри, такі як температура на вході (Temp_Vody_In) і в кожному котлі (Temp_Vody_Pech1, Temp_Vody_Pech2, Temp_Vody_Pech3),

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.159 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		87

обробляються регулятором. Результуючий сигнал (Temp_Gor_Vody_out) використовується для коригування подачі теплоносія.

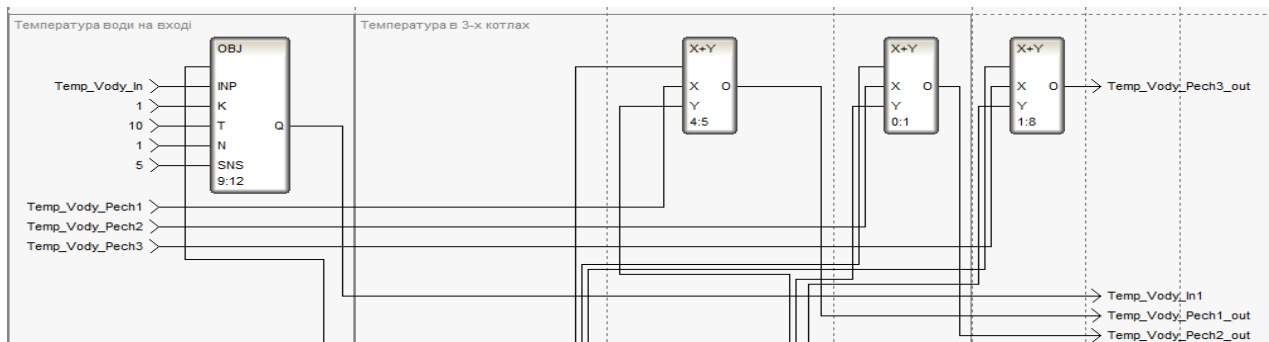


Рисунок 6.4 – Блок-схема температурного регулятора (вхідні параметри)

Принцип роботи регулятора тиску

Регулятор тиску стабілізує параметри тиску газу в системі, забезпечуючи надійність роботи нагрівальних елементів.

- Пропорційний компонент (КР): Швидке реагування на зміни тиску.
- Інтегральний компонент (КІ): Усуває довготривалі помилки в роботі.
- Диференціальний компонент (КД): Компенсує швидкі зміни тиску, передбачаючи можливі ризики.

Вхідні дані, такі як тиск на вході (DavL_Gas_In) і в котлах (DavL_Gas_Pech1, DavL_Gas_Pech2, DavL_Gas_Pech3), проходять обробку через PID-блок. Вихідний сигнал (DavL_out) коригує подачу газу до кожного котла.

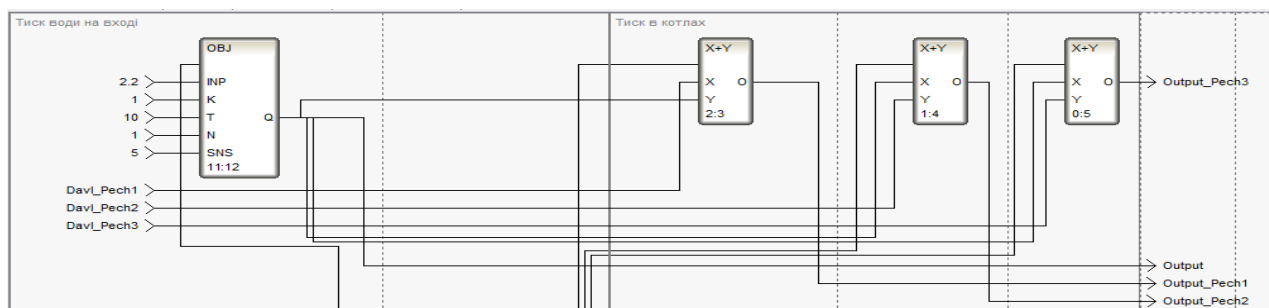


Рисунок 6.5 – Блок-схема ПІД-регулятора тиску (вхідні параметри котлів)

Обидва регулятори працюють у синергії, забезпечуючи стабільність температурного і тискового режимів у системі. Їхні параметри та функції детально налаштовуються для досягнення максимальної ефективності, що буде розглянуто у наступному розділі.

6.4.2 Налаштування ПІД-регуляторів

Налаштування ПІД-регуляторів є важливим етапом для забезпечення стабільної роботи системи. Воно включає встановлення коефіцієнтів регулювання, визначення уставок, а також обмежень вихідних сигналів для запобігання перевантаженням.

Для кожного з ПІД-регуляторів налаштовуються три основні коефіцієнти:

- КР (пропорційний): Визначає швидкість реагування регулятора на поточне відхилення параметра. Наприклад, при значному відхиленні температури чи тиску високий КР забезпечить швидке коригування.
- КІ (інтегральний): Дозволяє регулятору компенсувати накопичені помилки, усуваючи довготривалі відхилення.
- КД (диференціальний): Допомагає передбачати зміни параметра, реагуючи на швидкість його зміни.

Для кожного регулятора ці параметри підбираються експериментально або розраховуються на основі математичної моделі системи.

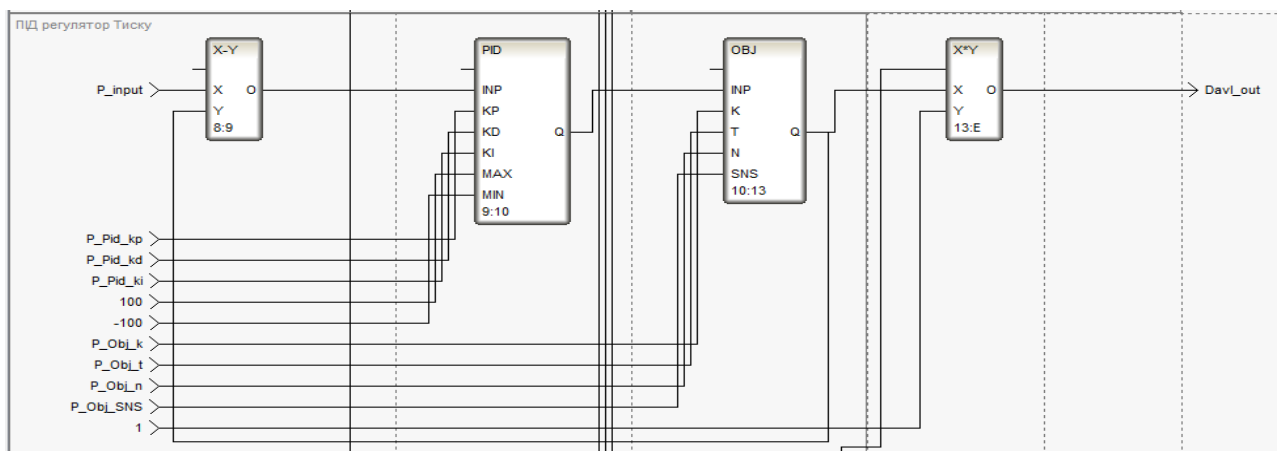


Рисунок 6.6 – Блок-схема ПІД-регулятора тиску (основна частина)

Налаштування уставок

Уставки — це задані значення температури або тиску, які мають підтримуватися системою.

- Для регулятора температури: уставка задає необхідну температуру теплоносія на виході (наприклад, 80°C).
- Для регулятора тиску: уставка визначає допустимий рівень тиску в котлах (наприклад, 3.5 бар).

Уставки вводяться через графічний інтерфейс SCADA-системи та можуть бути змінені оператором у реальному часі.

Обмеження сигналів

Для запобігання перевантаженням і аварійним ситуаціям встановлюються мінімальні та максимальні обмеження вихідних сигналів:

- Мінімум: Забезпечує безпечну мінімальну роботу системи (наприклад, мінімальний тиск у системі).
- Максимум: Запобігає перегріву чи перевищенню тиску, які можуть призвести до пошкодження обладнання.

Ці обмеження налаштовуються на рівні PID-блоку та інтегруються у загальну SCADA-систему для контролю.

6.4.3 Графічний інтерфейс ПІД-регуляторів у SCADA-системі

Графічний інтерфейс ПІД-регуляторів у SCADA-системі дозволяє оператору візуалізувати роботу регуляторів, змінювати їхні параметри та контролювати поведінку системи в реальному часі. Це забезпечує зручність і ефективність управління технологічним процесом.

Поля введення параметрів

На екрані SCADA-системи для кожного з ПІД-регуляторів передбачені окремі поля для введення значень коефіцієнтів КР, КІ та КД.

- Оператор може змінювати ці значення, адаптуючи роботу регулятора до поточних умов системи.
- Уставки температури та тиску вводяться через спеціальні інтерфейсні поля, що дозволяє задати бажані параметри роботи системи.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		90

Крім того, передбачено можливість встановлення мінімальних і максимальних значень сигналів, які запобігають аварійним ситуаціям.

Відображення даних у реальному часі

Графічний інтерфейс дозволяє візуалізувати ключові параметри роботи регуляторів:

- Температура: Поточні та задані значення температури теплоносія на вході й виході системи.
- Тиск: Значення тиску в котлах і подачі газу.

Дані відображаються у вигляді:

- Графіків: Тренди параметрів показують зміни температури та тиску протягом заданого періоду.
- Індикаторів: Візуалізують поточний стан системи (нормальний або аварійний).

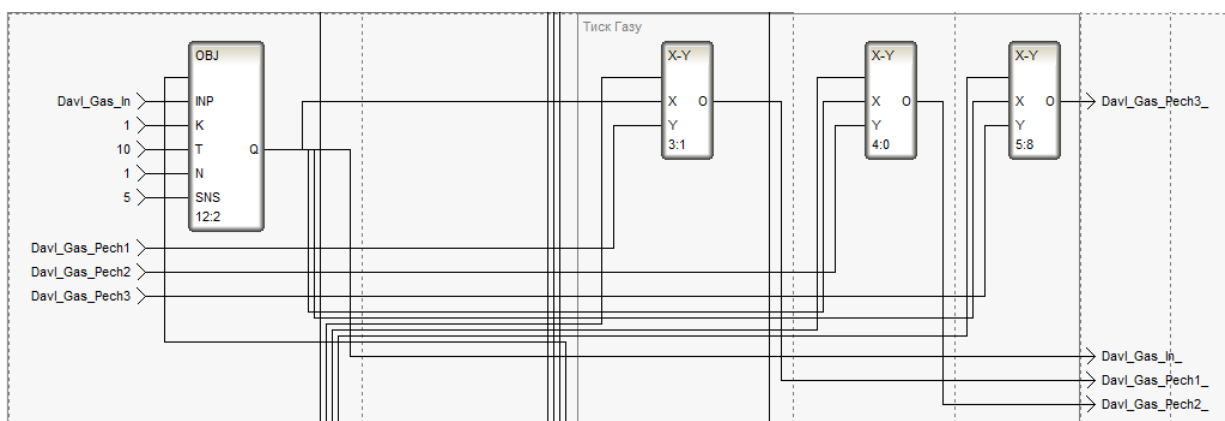


Рисунок 6.7 – Блок-схема температурного регулятора (контроль подачі газу)

Функція сигналізації

Інтерфейс включає систему сигналізації, яка автоматично попереджає оператора про відхилення параметрів від уставок:

- У разі перевищення допустимих значень температури або тиску на екрані з'являється тривожний сигнал.
- Також активуються світлові або звукові індикатори, що вказують на аварійну ситуацію.

Сигналізація допомагає оператору своєчасно вжити заходів для стабілізації системи.

6.4.4. Контроль параметрів у реальному часі

Контроль параметрів у реальному часі є важливою функцією SCADA-системи, що забезпечує оператору повний доступ до ключових показників роботи ПД-регуляторів. Це дозволяє оперативно реагувати на відхилення параметрів від уставок та підтримувати стабільність системи.

Аналіз поведінки регулятора температури

ПД-регулятор температури контролює стабільність температури теплоносія, забезпечуючи її відповідність заданим уставкам.

- Моніторинг температури: Поточні значення температури на вході й виході системи відображаються на екрані у реальному часі.
- Графіки змін: Графічні тренди дозволяють аналізувати, як змінювалася температура протягом часу. Це дає можливість оцінити ефективність роботи регулятора за різних умов.
- Відображення сигналів регулятора: Оператор може бачити вихідний сигнал, який відповідає за управління нагрівальними елементами (Temp_Gor_Vody_out).

Інформацію про блок-схему температурного регулятора див. у рисунку 6.4.

Аналіз поведінки регулятора тиску

Регулятор тиску забезпечує підтримання стабільного рівня тиску газу у котлах.

- Моніторинг тиску: Поточні значення тиску газу та тиску в кожному з котлів відображаються на графічному екрані.
- Графіки змін: Тренди тиску показують динаміку змін та ефективність корекції відхилень регулятором.

Відображення сигналів регулятора: Вихідний сигнал (Davl_out) демонструє, як регулятор коригує подачу газу в залежності від умов.

Інформацію про блок-схему регулятора тиску див. у рисунку 6.5.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		92

Реакція системи на зміну вхідних параметрів

ПІД-регулятори автоматично реагують на зміну вхідних параметрів, таких як температура або тиск, за допомогою:

- Швидкого реагування: Пропорційний компонент (КР) забезпечує негайну корекцію відхилення.
- Довготривалої стабілізації: Інтегральний компонент (КІ) усуває накопичені помилки.
- Попередження коливань: Диференціальний компонент (КД) компенсує швидкі зміни параметрів.

Ці дії виводяться у графічній формі для аналізу ефективності роботи регуляторів.

6.4.5. Аварійна зупинка через ПІД-регулятори

Аварійна зупинка є критично важливою функцією ПІД-регуляторів, що забезпечує безпеку роботи системи. У разі критичних відхилень параметрів, таких як перегрів чи перевищення тиску, регулятори автоматично активують механізми захисту, попереджаючи аварійні ситуації.

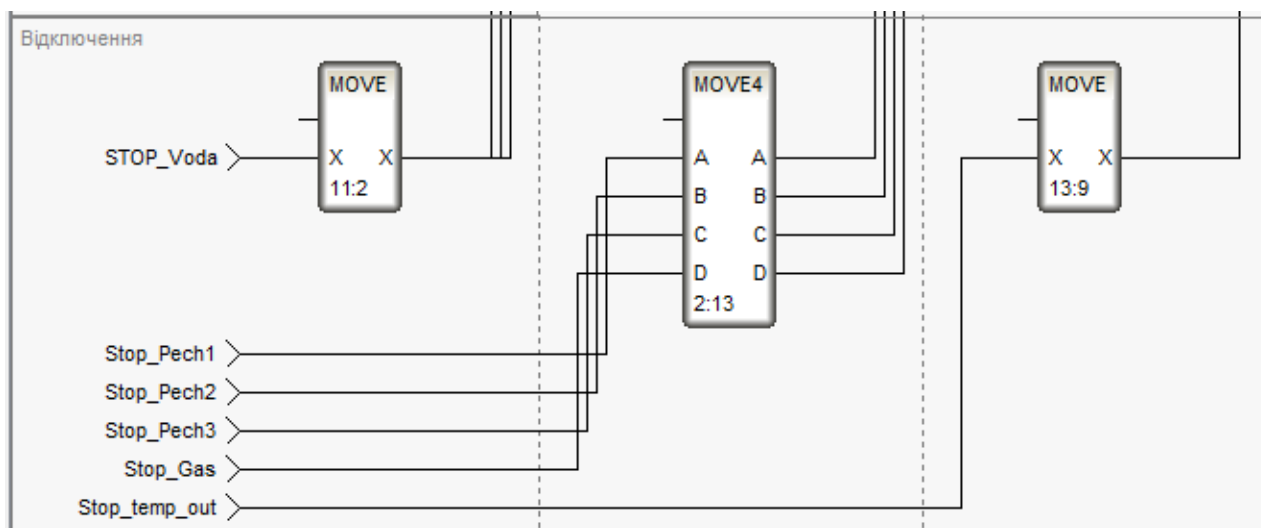


Рисунок 6.8 – Блок-схема температурного регулятора (аварійне відключення)

Робота регулятора температури у разі критичного перегріву

ПІД-регулятор температури контролює процес нагрівання теплоносія та відстежує його температуру на виході з котлів. У разі перевищення гранично допустимого значення температури активується сигнал аварійної зупинки STOP_Voda.

Процес зупинки:

- подача теплоносія припиняється.
- Виконавчі механізми зупиняють нагрівальні елементи.
- Система переходить у безпечний режим.

Робота регулятора тиску при перевищенні допустимих меж

Регулятор тиску контролює подачу газу в котли та відстежує його тиск. Якщо тиск перевищує встановлені межі, активується сигнал Stop_Gas

Процес зупинки:

- подача газу до котлів припиняється.
- Клапани закриваються, запобігаючи подальшому підвищенню тиску.
- Регулятор забезпечує безпечний стан системи, блокуючи повторний запуск до усунення причин перевищення.

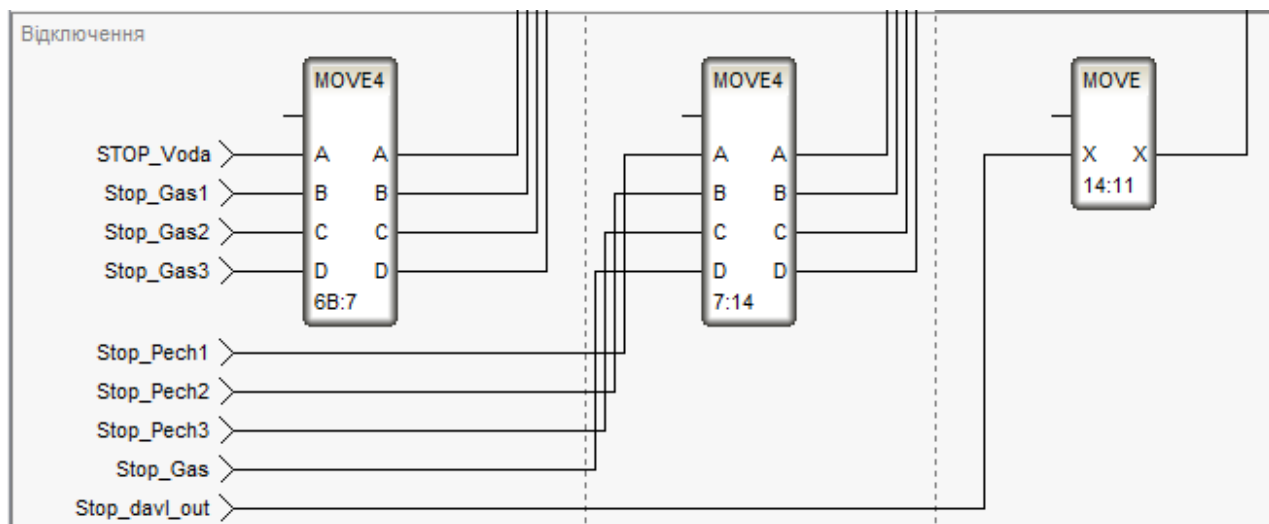


Рисунок 6.9 – Блок-схема ПІД-регулятора тиску (аварійне відключення)

Інтеграція сигналів аварійної зупинки у SCADA-систему

Аварійні сигнали обох регуляторів інтегровані в SCADA-систему, що забезпечує:

- Автоматичне попередження оператора: Відображення аварійного стану через індикатори на графічному інтерфейсі.
- Формування журналу подій: Запис інформації про момент спрацьовування сигналів та причини аварійної зупинки.
- Синхронізація дій: Забезпечення одночасного відключення усіх компонентів системи для попередження подальших аварій.

6.4.6. Узагальнення роботи ПІД-регуляторів температури та тиску з використанням графічного інтерфейсу

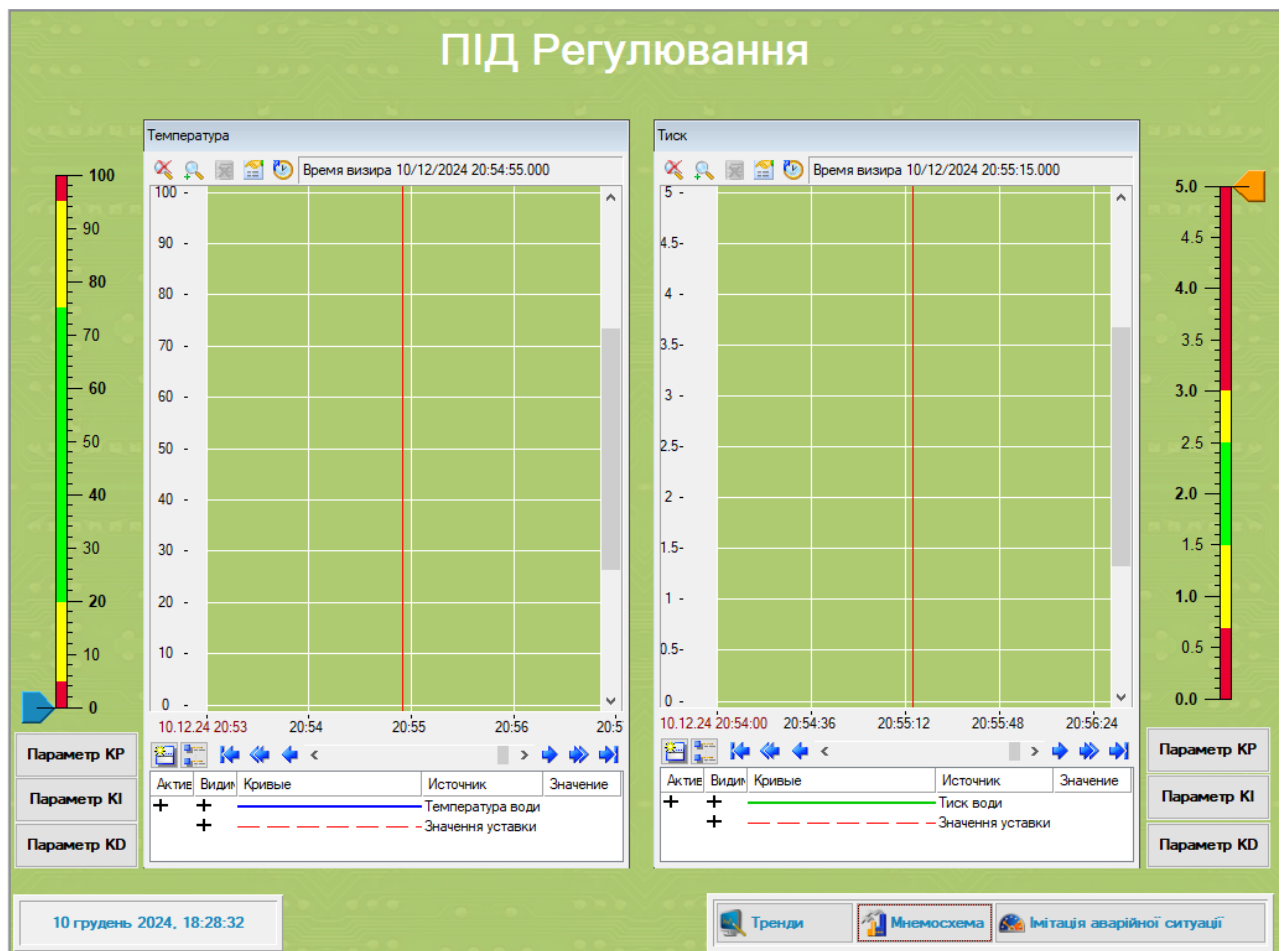


Рисунок 6.10 – Графічний інтерфейс ПІД-регуляторів температури та тиску у SCADA-системі

Графічний інтерфейс SCADA-системи дозволяє одночасно контролювати роботу ПІД-регуляторів температури та тиску, забезпечуючи наочне уявлення про стан системи та доступ до основних параметрів.

Інтерфейс контролю параметрів

На рисунку 6.14 зображено вікно управління ПІД-регуляторами, яке включає:

1. Тренди температури та тиску:
 - Ліворуч відображено зміни температури теплоносія у реальному часі.
 - Праворуч показано зміни тиску в системі, включаючи уставки.
2. Поля введення коефіцієнтів (КР, КІ, КD):
 - Оператор може налаштовувати пропорційні, інтегральні та диференціальні параметри для кожного регулятора.
3. Індикатори допустимих значень:
 - Вертикальні шкали відображають поточний стан параметрів (температура і тиск), дозволяючи оператору візуально оцінити, чи знаходяться значення в межах допустимого.

Узгоджена робота ПІД-регуляторів

Обидва регулятори працюють синхронно для забезпечення стабільності:

- Температура: Контролюється через регулятор температури, який підтримує задану температуру теплоносія на виході.
- Тиск: Регулятор тиску забезпечує стабільну подачу газу для нагрівальних елементів.

Інтерфейс дозволяє відстежувати зміни параметрів у реальному часі, а також швидко вносити корективи, якщо виникають відхилення.

					<i>ELIT 8.171.00.10.159 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		96

7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

7.1 Розрахунок повної собівартості проектного пристрою

Собівартість продукції відображає сукупні витрати підприємства на виробництво та реалізацію виробу, подані у грошовому еквіваленті. Основні витрати, пов'язані з виготовленням, формують виробничу собівартість. Коли до них додаються витрати на збут, отримується повна собівартість виробу. Розрахунок витрат за кожною статтею називається калькуляцією. У даному випадку калькуляція проведена відповідно до норм «Типового положення із планування, обліку й калькулювання собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості».

Процес виробництва потребує різноманітних матеріалів, компонентів, а також використання обладнання та інструментів. Для обґрунтування собівартості важливо систематизувати витрати. У плануванні та обліку вони класифікуються за такими статтями:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- соціальні відрахування;
- витрати на матеріали та комплектуючі;
- витрати на утримання та експлуатацію обладнання;
- загальновиробничі витрати;
- адміністративні витрати;
- позавиробничі витрати.

Систематизація витрат за статтями дозволяє визначити собівартість виробу, а також джерела витрат. Для проектного пристрою враховуються витрати на комплектуючі вироби, напівфабрикати та матеріали, необхідні для виготовлення друкованої плати.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		97

7.1.1 Матеріали та комплектуючі

Процес виготовлення пристрою потребує використання різноманітних електронних компонентів: мікросхем, резисторів, конденсаторів, роз'ємів та інших. Розрахунок витрат на комплектуючі базується на кількості компонентів і ринковій вартості, що зазначена у прайс-листах постачальників.

Таблиця 7.1 – Розрахунок вартості комплектуючих

№ п/п	Найменування	Кількість, од.	Ціна за одиницю, грн.	Загальна вартість, грн.
КОНДЕНСАТОРИ				
1	K10-17-25B-0,1 мкФ	2	3.00	6.00
2	K50-6-25B-10 мкФ	1	10.00	10.00
3	K50-35-25B-10 мкФ	10	1.50	15.00
4	K73-17-63B-0,1 мкФ	14	1.50	19.00
МІКРОСХЕМИ				
1	ADG1406	1	100.00	100.00
2	Intel8088	1	250.00	250.00
3	AD571	1	200.00	200.00
4	8282	2	75.00	150.00
5	M8286	1	120.00	120.00
6	74НСТ257	1	45.00	45.00
7	АТ28С16	1	150.00	150.00
8	8282	1	125.00	125.00
9	62566	1	90.00	90.00
РЕЗИСТОРИ				
1	C2-29B-0,125-220	3	2.50	7.50
РЕЗОНАТОРИ				
1	ХО-97	1	25.00	25.00
РОЗ'ЄМИ				
1	DB-9	2	50.00	50.00
Загальна вартість комплектуючих, К				1464.50

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ

Арк.

98

Загальна вартість комплектуючих: 1464.50 грн.

Таблиця 7.2 – Розрахунок вартості допоміжних матеріалів

Матеріал	Одиниця вимірювання	Норма витрат	Ціна за од, грн.	Ціна, грн.
Провід монтажний	м	0,4	3,00	1,20
Стеклотекстоліт	м ²	0,25	70,00	17,50
Каніфоль	кг	0,08	950,00	76,00
Флюс	кг	0,03	860,00	25,80
Припій	кг	0,12	330,00	39,60
Лак	кг	0,02	125,00	2,50
Речовина для корпусу	кг	0,35	310,00	108,50
Разом, М				271,10

Розрахунок транспортних витрат:

$$KM = (K + M) \cdot \frac{100 + k_{т-з}}{100} \quad (7.1)$$

$$KM = (1464,50 + 271,10) \cdot (100 + 10) / 100 = 1909,16 \text{ грн.}$$

7.1.2 Витрати на основну заробітну плату

$$Z_o = \sum_{i=1}^n (T_{гi} \cdot H_{чi}) \quad (7.2)$$

де:

- $T_{гi}$ – годинна тарифна ставка спеціаліста, грн/год;
- $H_{чi}$ – витрачений час працівником на виробництво та налагодження пристрою, год;
- n – кількість працівників, задіяних у виробництві.

Годинна тарифна ставка обчислюється за формулою:

$$T_{\Gamma i} = \frac{T_{M i}}{B_{\Phi i} \cdot 8} \quad (7.3)$$

де:

- $T_{M i}$ – місячний оклад спеціаліста, грн;
- $B_{\Phi i}$ – кількість фактично відпрацьованих змін за місяць;
- 8 – тривалість однієї зміни, год.

Розрахунок:

Нехай місячний оклад спеціаліста становить $T_{M i} = 18000$ грн, а фактична кількість змін за місяць $B_{\Phi i} = 20$

Обчислимо годинну тарифну ставку:

$$T_{\Gamma i} = \frac{T_{M i}}{B_{\Phi i} \cdot 8} = \frac{18000}{20 \cdot 8} = 112,50 \text{ грн.}$$

Витрачений час кожного працівника становить $N_{\text{ч} i} = 5$ год, а кількість працівників $n = 3$

Основна заробітна плата обчислюється так:

$$Z_o = \sum_{i=1}^3 88,23 \cdot 5 = 3 \cdot 112,50 \cdot 5 = 1687,50 \text{ грн}$$

7.1.3 Витрати на додаткову заробітну плату

Додаткова заробітна плата розраховується як певний відсоток від основної заробітної плати:

$$Z_d = Z_o \cdot \frac{K_d}{100} \quad (7.4)$$

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.159 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		100

де:

- K_d – відсоток додаткової заробітної плати, $K_d = 15\%$ (залежно від виду робіт);
- Z_o – основна заробітна плата, грн.

Розрахунок:

- Основна заробітна плата: $Z_o = 1687.50$ грн
- Відсоток додаткової заробітної плати: $K_d = 15\%$.

Розрахуємо витрати на додаткову заробітну плату:

$$Z_d = 1687.50 \cdot (15\% / 100\%) = 253,13 \text{ (грн.)}$$

7.1.4 Відрахування на соціальні виплати

Відрахування на соціальні виплати включають обов'язкові внески, пов'язані з державним пенсійним страхуванням, страхуванням у разі тимчасової непрацездатності, безробіття та інших випадків.

Нарахування здійснюється у вигляді єдиного соціального внеску, що становить 22% від суми основної та додаткової заробітної плати:

$$V_{св} = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{22}{100} \quad (7.5)$$

де:

- Z_o – основна заробітна плата, грн;
- Z_d – додаткова заробітна плата, грн;
- 22% – встановлений тариф єдиного соціального внеску.

Розрахунок:

- Основна заробітна плата: $Z_o = 1687.50$ грн.
- Додаткова заробітна плата: $Z_d = 253.13$ грн.

$$V_{св} = (1687.50 + 253,13) \cdot 22/100 = 470.94 \text{ (грн.)}$$

					<i>ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		101

7.1.5 Видатки на утримання та експлуатацію встаткування

Витрати на утримання та експлуатацію встаткування (V_{ye}) розраховуються як частка від основної заробітної плати працівників, що беруть участь у виробничому процесі.

Розрахунок здійснюється за формулою

$$V_{ye} = Z_o \cdot K_{Vye} \quad (7.6)$$

де:

Z_o – основна заробітна плата, грн;

K_{Vye} – коефіцієнт витрат на утримання та експлуатацію встаткування, який дорівнює 1.3 (130%).

Розрахунок:

- Основна заробітна плата: $Z_o = 1687.50$ грн.
- Коефіцієнт витрат на утримання та експлуатацію встаткування:
 $K_{Vye} = 1.3$

$$V_{ye} = 1687.50 \cdot 1,3 = 2193,75 \text{ грн.}$$

7.1.6 Загальновиробничі витрати

Загальновиробничі витрати включають витрати на управлінські заходи, відрядження, амортизацію основних фондів та інші витрати. Вони визначаються як частка від основної заробітної плати:

$$V_{zv} = Z_o \cdot K_{zv} \quad (7.7)$$

де:

Z_o – основна заробітна плата, грн;

K_{zv} – коефіцієнт загальновиробничих витрат, що становить (140%).

Розрахунок:

Основна заробітна плата: $Z_o = 1687.50$ грн

Коефіцієнт загальновиробничих витрат: $K_{zv} = 1.4$

					<i>ELIT 8.171.00.10.159 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		102

$$V_{зв} = Z_o \cdot K_{зв} = 1687.50 \cdot 1,4 = 2362.50 \text{ (грн.)}$$

7.1.7 Виробнича собівартість

Виробнича собівартість включає всі витрати, пов'язані з виготовленням продукції. Вона розраховується за формулою:

$$V_c = Z_o + Z_d + V_{св} + KM + V_{уе} + V_{зв} \quad (7.8)$$

де:

- $Z_o = 1687.50$ грн – основна заробітна плата;
- $Z_d = 253.13$ грн – додаткова заробітна плата;
- $V_{св} = 470.94$ грн – відрахування на соціальні виплати;
- $KM = 1909.16$ грн – вартість матеріалів і комплектуючих;
- $V_{уе} = 2193.75$ грн – видатки на утримання та експлуатацію встаткування;
- $V_{зв} = 2362.50$ грн – загальновиробничі витрати.

Розрахунок:

$$V_c = 1687.50 + 253.13 + 470.94 + 1909.16 + 2193.75 + 2362.50 = 8876.98 \text{ грн.}$$

7.1.8 Адміністративні витрати

Адміністративні витрати включають витрати на управління підприємством, організацію навчання, транспорт, оренду, банківські послуги та інші витрати, пов'язані з забезпеченням ефективного функціонування підприємства.

Основні складові адміністративних витрат:

- витрати на управління та контроль процесів;
- витрати на відрядження адміністративного персоналу;
- утримання пожежної та сторожової охорони;
- навчання та перепідготовка кадрів;
- транспортні витрати для працівників;

					<i>ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		103

- оплата відсотків за кредити;
- оренда матеріальних цінностей;
- оплата банківських послуг;
- податки та інші відрахування.

Адміністративні витрати V_a розраховуються у відсотковому співвідношенні до основної заробітної плати:

$$V_a = Z_o \cdot K_a \quad (7.8)$$

де:

- Z_o – основна заробітна плата, грн;
- K_a – коефіцієнт адміністративних витрат (в межах 140 - 200%).

Розрахунок:

- Основна заробітна плата: $Z_o = 1687.50$ грн.
- Коефіцієнт адміністративних витрат: $K_a = 1.6$

$$V_a = 1687.50 \cdot 1.6 = 2700.00 \text{ грн.}$$

7.1.9 Витрати на збут

Витрати на збут (V_z) охоплюють витрати на рекламу, маркетингові заходи, підготовку пристрою до продажу, тестування, сертифікацію, а також створення документації. Ці витрати сприяють підвищенню впізнаваності продукту, стимулюванню попиту на нього, а також забезпечують успішне впровадження пристрою на ринок.

Основні складові витрат на збут:

- рекламні кампанії, створення промо-матеріалів;
- організація заходів для просування пристрою;
- тестування, сертифікація;
- розробка технічної документації;
- ліцензування та інші заходи.

									Арк.
									104
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ				

Витрати на збут визначаються у розмірі 5-10% від виробничої собівартості пристрою V_c

$$V_3 = V_c \cdot K_3 \quad (7.9)$$

де:

- V_c – виробнича собівартість пристрою, грн;
- K_3 – коефіцієнт витрат на збут (у межах 5-10%).

Розрахунок:

- Виробнича собівартість: $V_c = 8876.98$ грн.
- Коефіцієнт витрат на збут: $K_3 = 0.07$.

$$V_3 = 8876.98 \cdot 0.07 = 621.39 \text{ грн.}$$

7.1.10 Повна собівартість пристрою

Повна собівартість пристрою (C) включає виробничу собівартість, адміністративні витрати та витрати на збут. Вона визначається за формулою:

$$C = V_c + V_a + V_3 \quad (7.10)$$

де:

- V_c – виробнича собівартість пристрою, грн;
- V_a – адміністративні витрати, грн;
- V_3 – витрати на збут, грн.

Розрахунок:

- Виробнича собівартість: $V_c = 8876.98$ грн
- Адміністративні витрати: $V_a = 2700.00$ грн
- Витрати на збут: $V_3 = 621.39$ грн

$$C = 8876.98 + 2700.00 + 621.39 = 12198.37 \text{ грн}$$

					ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		105

Таблиця 7.3 – Калькуляція собівартості пристрою

№ п/п	Найменування статей калькуляції	Значення, грн
1	Основна заробітна плата	1687.50
2	Додаткова заробітна плата	253.13
3	Відрахування на соціальні виплати	470.94
4	Видатки на утримання та експлуатацію встаткування	2193.75
5	Загальновиробничі витрати	2362.50
6	Матеріали та комплектуючі	1909.16
Виробнича собівартість		8876.98
7	Адміністративні витрати	2700.00
8	Витрати на збут	621.39
Повна собівартість пристрою		12198.37

7.2. Розрахунок ціни пристрою

Ціна пристрою є ключовим елементом, що визначає його ринкову доступність та конкурентоспроможність. Для формування ціни використовується підхід «собівартість плюс прибуток», що враховує виробничі витрати та очікуваний рівень рентабельності. Розрахунок оптової ціни пристрою проведемо за схемою «собівартість плюс прибуток»:

$$C_{\text{опт}} = C + П \quad (7.11)$$

де:

- С — собівартість пристрою;
- П — величина прибутку.

Прибуток визначається виходячи з нормативу рентабельності виробництва продукції:

$$R = \frac{\Pi}{C} \cdot 100\% \quad (7.12)$$

де:

- R — рентабельність продукції (приймається у розмірі 10%).

Розрахуємо прибуток:

$$\Pi = R \cdot \frac{C}{100} = 10 \cdot \frac{12198,37}{100} = 1219,84 \text{ грн}$$

Тоді оптова ціна:

$$C_{\text{опт}} = C + \left(R \cdot \frac{C}{100} \right) = 12198,37 + 1219,84 = 13418,21 \text{ грн} \quad (7.13)$$

7.2.2 Розрахунок роздрібної ціни пристрою з урахуванням 20% ПДВ

$$C_{\text{розн}} = C_{\text{опт}} \cdot 1,2 = 13418,21 \cdot 1,2 = 16101,85 \text{ грн} \quad (7.14)$$

					ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		107

ВИСНОВКИ

1. Результати досліджень та розробки

У процесі виконання роботи на тему "Апаратно-програмний комплекс управління технологічним процесом підігріву води" було виконано низку теоретичних та практичних завдань. Проаналізовано сучасні методи автоматичного регулювання температури, визначено вимоги до системи, а також розроблено принципову електричну схему комплексу. У ході дослідження використано програмовані логічні контролери (ПЛК), датчики та виконавчі механізми, які забезпечують точне регулювання параметрів теплоносія.

2. Принципова електрична схема

На основі технічних вимог було розроблено електричну принципову схему системи управління. Схема включає:

- Центральний процесор (Intel 8088), що відповідає за обробку даних та виконання алгоритмів управління.
- Периферійні пристрої (8255, мультиплексор ADG1406, АЦП AD571), які забезпечують обмін даними між датчиками, контролером та виконавчими механізмами.
- Буферні мікросхеми (8282), що стабілізують обмін сигналами.
- Пам'ять (EPROM AT28C16 та RAM 62566) для збереження конфігураційних даних та тимчасових значень.

Елементи схеми працюють у тісному взаємозв'язку, забезпечуючи контроль температури, обробку сигналів від датчиків та зворотний зв'язок у реальному часі.

3. Програмна реалізація

Розроблено програмну модель системи управління з використанням ПІД-регулятора. Програмна частина реалізована у вигляді функціональних блокових діаграм (FBD), що дозволяє забезпечити прозоре та надійне управління процесом підігріву води. Основні блоки програмної моделі включають:

- Блок обчислення похибки: визначає різницю між заданою та поточною температурою теплоносія.

									Арк.
									108
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ				

- ПІД-регулятор: формує керуючий сигнал на основі пропорційної, інтегральної та диференціальної складових, що забезпечує стабільне регулювання з мінімальними відхиленнями.
- Блок об'єкта управління: імітує реакцію системи на керуючий сигнал та передає дані для моніторингу.
- Блок зворотного зв'язку: забезпечує передачу актуальних даних до регулятора для подальшої корекції параметрів.

Програмна реалізація дозволяє адаптувати систему до змінних умов роботи, підвищуючи її гнучкість та ефективність.

4. Аналіз результатів

- Проведене моделювання показало ефективність використання ПІД-регулятора у системі управління температурою. Було проаналізовано чотири основні типи перехідних процесів:
- Коливальний процес: система працює на межі стійкості з великими відхиленнями.
- Малоколивальний процес: забезпечує компроміс між швидкістю реакції та стабільністю.
- Процес без перерегулювання: плавне досягнення заданого значення температури.
- Монотонний процес: система стабілізується повільно, але без коливань.

Оптимальні параметри коефіцієнтів K_p , K_i , K_d було визначено на основі моделювання для кожного типу процесу, що дозволило мінімізувати час стабілізації та перерегулювання.

5. Практична цінність роботи

Розроблений апаратно-програмний комплекс забезпечує:

- Ефективне автоматичне управління процесом підігріву води з високою точністю та мінімальними втратами енергії.
- Гнучкість та адаптивність системи завдяки можливості налаштування ПІД-регулятора для різних режимів роботи.
- Можливість інтеграції з іншими автоматизованими системами завдяки використанню сучасних інтерфейсів обміну даними.

						<i>ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			109

6.Висновок

Робота успішно реалізувала поставлені завдання: від аналізу сучасних методів управління до розробки апаратно-програмного комплексу. Створена система є надійною, ефективною та придатною для впровадження у виробничих умовах. Завдяки своїй модульності та можливості налаштування, вона може використовуватися у різних технологічних процесах, що потребують точного контролю параметрів, таких як температура теплоносія.

Отримані результати та розроблені рекомендації можуть стати основою для подальших досліджень у напрямку вдосконалення систем автоматичного управління та їх адаптації до сучасних умов виробництва.

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.159 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		110

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Білецький О.О., Автоматизація технологічних процесів. – Київ: Техніка, 2022. – 320 с.
2. Дорошенко С.М., Основи мікропроцесорної техніки. – Харків: НТУ ХП, 2021. – 240 с.
3. Плотников В.П., Теорія автоматичного керування. – Київ: Освіта, 2019. – 180 с.
4. Smirnov A.S., "PID-Regulation in Heat Supply Systems", International Journal of Control Systems, 2021, Vol. 15, No. 3, pp. 123–134.
5. Schneider Electric, "SCADA Systems for Industrial Processes". – [Electronic resource]. Available at: <https://www.se.com> (Accessed: 10 Dec. 2024).
6. Siemens AG, "SIMATIC Controllers and PID Regulation". – [Electronic resource]. Available at: <https://www.siemens.com> (Accessed: 11 Dec. 2024).
7. McAnlis Colt, Haеcky Aleks, Understanding Compression. – O'Reilly Media, Inc., 2018. – 222 p.
8. Kovalchuk P.V., "Application of IoT for Boiler Room Automation", Automation and Systems Engineering Journal, 2023, Vol. 12, No. 5, pp. 145–159.
9. National Instruments, "LabVIEW for Industrial Control Systems". – [Electronic resource]. Available at: <https://www.ni.com> (Accessed: 12 Dec. 2024).
10. Gorbatenko T.A., "Modern Trends in SCADA Integration", Proceedings of International Conference on Automation, Kyiv, 2022, pp. 215–223.
11. Brey B.B., The Intel Microprocessors. – Prentice Hall, 2020. – 920 p.
12. Ovod P.A., "Adaptive PID Control in Technological Systems", Control Engineering Journal, 2023, Vol. 14, No. 2, pp. 95–104.
13. Gottlieb D., Hagerth S.A., "Integration of Sensors for Heat Control Systems", Sensors Journal, 2021, Vol. 18, No. 7, pp. 1012–1023.
14. UT6264C, "8Kx8 Bit Low Power CMOS RAM". – Utron Technology Inc., 2020. – 33 p.
15. Texas Instruments, "Sensor Technologies for Heat Monitoring". – [Electronic resource]. Available at: <https://www.ti.com> (Accessed: 13 Dec. 2024).

					ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		111

16. Sayood Kh., Introduction to Data Compression. – Morgan Kaufmann, 2019. – 790 p.
17. Knysh B.P., Мікропроцесорна техніка. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 106 с.
18. 8086/8088 User Manual. – Intel Corporation, 2020. – 150 p.
19. Ochsner K., Heat Pump Systems: Design, Installation and Technology. – Woodhead Publishing, 2022. – 300 p.
20. Thompson J., "Efficiency Analysis of PID-Controlled Heating Systems", Journal of Automation and Control, 2023, Vol. 19, No. 2, pp. 88–97.
21. Gubarev V.V., "Modern SCADA Integration in Boiler Systems", Automation Today, 2021, Vol. 10, No. 3, pp. 130–140.
22. Kamal A., IoT Applications for Energy Efficiency. – CRC Press, 2023. – 276 p.
23. Texas Instruments, "Implementation of PID Controllers with Sensors" [Electronic resource]. Available at: <https://www.ti.com> (Accessed: 15 Dec. 2024).
24. Anderson B., Control Systems Engineering. – Springer, 2022. – 340 p.
25. Ivanov D.O., "Smart Sensors in Heating Systems: Efficiency and Reliability", Sensors and Actuators Journal, 2023, Vol. 14, No. 5, pp. 215–223.
26. Schneider Electric, "Temperature Control in Industrial Heating Systems". – [Electronic resource]. Available at: <https://www.se.com> (Accessed: 15 Dec. 2024).
27. Kumar N., "Comparative Analysis of Traditional and IoT-Based Control Systems", Engineering Automation Journal, 2022, Vol. 11, No. 6, pp. 145–153.
28. Кондратенко О.А. «Розумний» USB-хаб модемного пулу автоматизованої системи / Бережна О.В., Арбузов В.В., Васильєв В.Р., Кривоніс Ю.І., Кондратенко О.А. // Фізика, електроніка, електротехніка (ФЕЕ-2023). Матеріали та програма науково-технічної конференції. – Суми: СумДУ, 2023. С.72

ДОДАТОК А

«Розумний» USB-хаб модемного пулу автоматизованої системи

Бережна О.В.¹, доц.; Арбузов В.В.², директор;
Кривоніс Ю.І.¹, студент гр. ЕС.М-21; Кондратенко О.А.¹, студент
гр. ЕС-91; Васильєв В.Р.¹, студент гр. ЕС.М-11

¹Сумський державний університет, м. Суми

²ТОВ «Енергосервісне підприємство «Преобразователь»», м. Суми

Актуальним завданням в питаннях розвитку автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) є забезпечення своєчасного зчитування даних з лічильників учасниками ринку електроенергії, які лишаяються можливості закупівлі електроенергії за більш дешевими тарифами при несвоєчасності надання даних.

В сучасних АСКОЕ дані з лічильників, які підключені до підстанційних GSM/GPRS модемів, зчитуються сервером АСКОЕ за допомогою модемного пулу, до складу якого входять GSM модеми та USB-хаб, до якого вони приєднані. Нестабільність живлення модемного пулу, наявність збоїв в роботі модемів, автоматичне оновлення операційних систем та віртуальних машин на сервері призводить до відмов у читанні лічильників. Відновлення роботи здійснюється вручну оператором АСКОЕ з ризиками несвоєчасного зчитування даних.

Дослідження показали, що для автоматичного відновлення роботи модемного пулу без участі людини необхідно до стандартної функціональності USB-хабу додати такі функції, які виконує оператор АСКОЕ при усуненні збоїв, що робить роботу хабу «розумною». Наприклад, якщо в процесі самоконтролю працездатності пулу USB-хаб зареєстрував невдалі спроби з'єднання з підстанційними модемами, хаб здійснює програмний рестарт відповідного модему шляхом відправки відповідної AT-команди через USB-порт або, при відсутності результату, хаб здійснює «рестарт» модему шляхом тимчасового вимкнення живлення GSM модему. При відсутності результату USB-хаб повідомляє оператора АСКОЕ про відмову шляхом відправки СМС-повідомлення через працездатний GSM модем, а потік з'єднань автоматично переводиться до вільного модему у модемному пулі.

Автоматизація функцій Оператору АСКОЕ за рахунок «розумного»

									Арк.
									113
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЕЛІТ 8.171.00.10.159 ПЗ				