

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки
Кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: Автоматизована система управління дахової котельні
на базі котла aton-0.4

Виконав студент 2 курсу, групи АТ-28м
спеціальності 174 “Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка”

Нікітчук Юрій Олексійович

(прізвище та ініціали студента)

Керівник: док. філософії, доцент

Кравчук Антон Романович

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Рецензент: д.т.н., проф., завідувач кафедри
інформаційно-вимірювальних технологій

Подчашенський Ю.О.

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки**

**Кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна**

**Спеціальність 174 “Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка”**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри робототехніки,
електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

к.т.н., доц. Громовий О.А.

“ _____ ” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

Студент Нікітчук Юрій Олексійович

1. Тема роботи: Автоматизована система управління дахової котельні
на базі котла aton-0

Затверджена Наказом по університету від «12» листопада 2024 р. № 647/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «20» грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: виконати аналіз існуючих систем управління газовими
котельнями на базі промислових мікроконтролерів, виявити особливості недоліки
та сформулювати пропозиції щодо покращення системи управління.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
аналіз об'єкта дослідження, розробка структурної схеми системи управління,
вибір компонентів, розробка схеми підключення або електричної схеми з'єднань

5. Перелік презентативного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових
слайдів/креслень) структурна схема або/та її складові, схема електрична
принципова системи управління або/та її складових, блок-схема алгоритм.

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи магістра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завданнявидав	завданняприйняв
Технічна частина	Кравчук А.Р.	1.09.24	1.09.24

Дата видачі завдання 1.09.24

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз об'єкта автоматизації	1.09.2024 – 15.10.2024	виконано
2	Розробка структурної схеми системи управління.	16.10.2024 – 29.10.2024	виконано
3	Вибір компонентів	29.10.2024 – 15.11.2024	виконано
4	Розробка схеми підключення	13.11.2024 – 02.12.2024	виконано
5	Кінцеве оформлення пояснювальної записки	02.12.2024 – 15.12.2024	виконано

Студент

(підпис, дата)

Нікітчук Ю.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис, дата)

Кравчук А.Р.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Дипломна робота присвячена розробці та впровадженню системи автоматизації дахової котельні на базі котла Aton-0.4. У роботі досліджено особливості функціонування котельного обладнання, проаналізовано сучасні підходи до автоматизації теплотехнічних процесів та розглянуто можливості оптимізації роботи системи.

Основна мета роботи – підвищення енергоефективності, надійності та безпеки роботи котельні шляхом впровадження автоматизованої системи контролю та керування з можливістю віддаленого управління.

У процесі роботи було розроблено структурну та функціональну схему автоматизації котельні, обґрунтовано вибір обладнання для реалізації автоматизованої системи.

Abstract

In this paper, an analysis of the main problematic tasks in the application of UAVs in the military sphere is performed. The composition and classification of existing UAVs are described, as well as the methods of their management and control. An analysis of available information sources was performed, which indicated the main and most common problems and features of UAV use. On the basis of the performed analysis, the main directions for automation have been determined, namely, the control of the unloading of the payload according to GPS coordinates, as well as the implementation of an additional control channel using a transmitter and receiver that work at a given radio frequency.

To ensure the above, the necessary elemental base was analyzed and selected, functional, structural and electrical schematics were developed. Also, the system operation algorithm based on the selected controller has been developed and the code for it is partially presented.

Реферат

Дипломна робота представлена в обсязі 63 сторінок формату А4 пояснювальної записки, в тому числі 5-ти схем.

В даній роботі проведено розробку автоматизації дахової котельні на базі котла Aton-0.4.

В першому розділі виконано аналіз існуючого об'єкту, а також класифікацію, будову. Було обрано основний напрям автоматизації. Для кращого спостереження й керування технологічним процесом було вирішено керувати контролером МІК-51. Контролер МІК-51 дозволяє вести локальне, каскадне, програмне, супервізоре, багатоз'в'язане регулювання.

Розроблено функціональну схему на котрій зображені наші виконавчі механізми та датчик, а також їх розміщення, структурна схема надає більш детального розуміння будови системи, а також взаємозв'язків між компонентами системи.

Завдяки цьому було обрано необхідну елементну та апаратну базу, на їх основі створено електричну принципову схему.

ЗМІСТ

Анотація	4
Реферат	5
Вступ	6
Розділ 1. Аналіз об'єкту автоматизації	8
1.1. Опис існуючого об'єкту.....	8
1.2. Постановка мети та задачі дипломного проектування.....	16
Розділ 2. Розробка структурної схеми системи керування котлом.....	18
2.1. Структурна схема системи автоматизації.....	18
2.2. Закон керування.....	20
Розділ 3. Розробка функціональної схеми.....	23
3.1. Функціональна схема системи автоматизації.....	23
Розділ 4. Розробка схеми електричної принципової.....	26
4.1. Схема електрична принципова.....	26
4.2. Виконавчі механізми та датчики.....	28
4.2.1. Контроль і регулювання температури теплоносія.....	28
4.2.2. Мікроконтролер МІК-51.....	31
4.2.3. Циркуляція теплоносія в системі теплопостачання.....	42
4.2.4. Контроль тиску води в системі.....	43
4.2.5. Підживлювальні насоси.....	44
4.2.6. Контроль тяги.....	46
4.2.7. Контроль загазованості в приміщенні.....	47
4.2.8. Газовий пальник.....	51
4.2.9. Контроль і керування за допомогою GSM-маршрутизатор (модуля).....	54
4.3. Опис елементної бази.....	56
Розділ 5. Алгоритмічне забезпечення.....	64
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	66
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67

ВСТУП

Сьогодні автономні джерела теплопостачання представлені не лише традиційними окремо розташованими котельнями, виконаними у вигляді блочних або модульних конструкцій. Широкого поширення набули також вбудовані та прибудовані котельні, які розміщуються у підвалах будівель і активно використовуються в країнах Західної Європи, а також дахові котельні, популярні у великих містах США і Канади.

Сучасні проєкти дахових котелень переважно виконуються у блочних та модульних варіантах. Ці конструкції мають високу заводську готовність, що значно скорочує час монтажу, оскільки не потребують тривалих робіт із установки та запуску.

Дахові котельні особливо поширені в Північній Америці. У густонаселених мегаполісах, таких як Чикаго, Детройт, Сіетл (США), Торонто і Ванкувер (Канада), вони забезпечують до 80% теплової енергії. Досвід проєктування та експлуатації таких котелень у цьому регіоні накопичувався протягом десятиліть.

Переваги:

- ✓ Відсутність потреби у виділенні дорогоцінної земельної ділянки, як у випадку з окремо розташованими котельнями в центральних районах мегаполісів, де земля має високу вартість.
- ✓ Відсутність необхідності в будівництві димоходів великої висоти.
- ✓ Розташування котельні забезпечує оптимальні гідравлічні умови: немає статичного тиску водяного стовпа на котли та арматуру.
- ✓ Природні умови сприяють ефективній подачі первинного та вторинного повітря до котлів.
- ✓ Мінімізація ризику у разі аварійного витоку природного газу або димових газів завдяки постійному провітрюванню приміщення котельні.

✓ Сприятливі умови для розсіювання димових газів із дахової котельні, розташованої на високій будівлі, що позитивно впливає на екологію. Дахові котельні мають одну незаперечну перевагу перед централізованим теплозабезпеченням. Це мала довжина комунікацій і можливість оперативно реагувати на змінену температурну ситуацію, що може суттєво зменшити затрати та енергозатрати.

Монтаж дахових котелень вимагає використання сучасного обладнання. Обладнання має бути легким, щоб уникнути надмірного навантаження на перекриття будівлі.

Дахові котельні рекомендується встановлювати попарно. Це дозволяє збільшувати подачу тепла під час сильних холодів і спрощує ремонтні роботи без необхідності повного відключення опалення.

В Україні розвиток дахових котелень почався лише в останні роки. У Житомирі в опалювальний сезон експлуатуються кілька десятків автономних дахових котелень, обладнаних котлами різних виробників. Цей тип котелень поступово займає впевнені позиції на ринку тепло агрегатів.

1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1. Опис існуючого об'єкту

Промисловий жаротрубний двоходовий котел Aton SAB-0,4 (див. рис. 1.1) водогрійний автоматизований котел, є високопродуктивним генератором тепла і призначений для опалення будівель і споруд, з теплоносієм - гарячою водою. Котел може поставлятися з вентиляторним пальником різних виробників і на різному вигляді палива (природний газ, рідке паливо, комбінована).

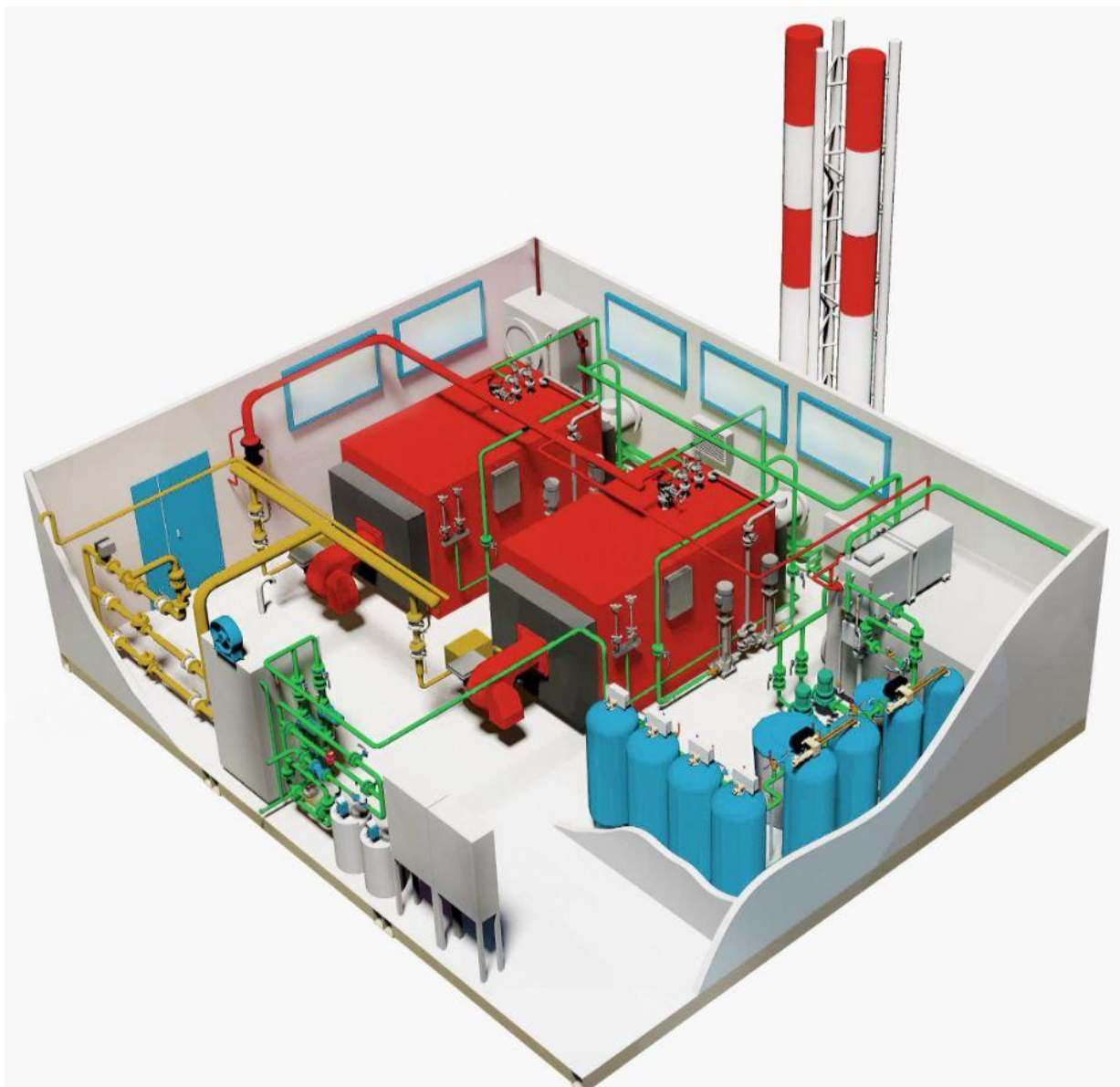


Рис. 1.1 Загальний вид розташування обладнання дахової газової котельні

Котел складається з корпусу, передньої жароміцної дверей (поз. 1 рис.1.2), димоходу (поз. 9 рис. 1.2) з патрубком для відводу димових газів та вибуховим клапаном (поз. 4 рис.1.2), опорної рами, теплоізоляції корпусу та декоративної обшиви з теплоізоляцією. Корпус котла складається із зовнішньої обичайки циліндричної форми, жарової труби (поз. 8 рис 1.2), передньої (поз. 2 рис 1.2) і задньої (поз. 3 рис 1.2) трубних дошок і конвективного газоходу. Топкова камера - циліндрична, виконана у вигляді жарової труби з привареним днищем. Дверцята котла футерована термобетоном, на ній розташовані фланець для під'єднання пальника і оглядове вікно (поз. 5 рис 1.2). Дверцята котла кріпляться до котла з допомогою гвинтових з'єднань, які забезпечують можливість відкриття дверей при необхідності проведенні контрольного огляду і чищення .

Конвективний газохід котла утворений з вварених в трубні дошки димогарних труб (поз. 7 рис 1.2), розташованих по концентричній окружності. Усередині труб встановлені спеціальної форми турбулізатори (поз. 6 рис 1.2) , що інтенсифікують теплопередачу.

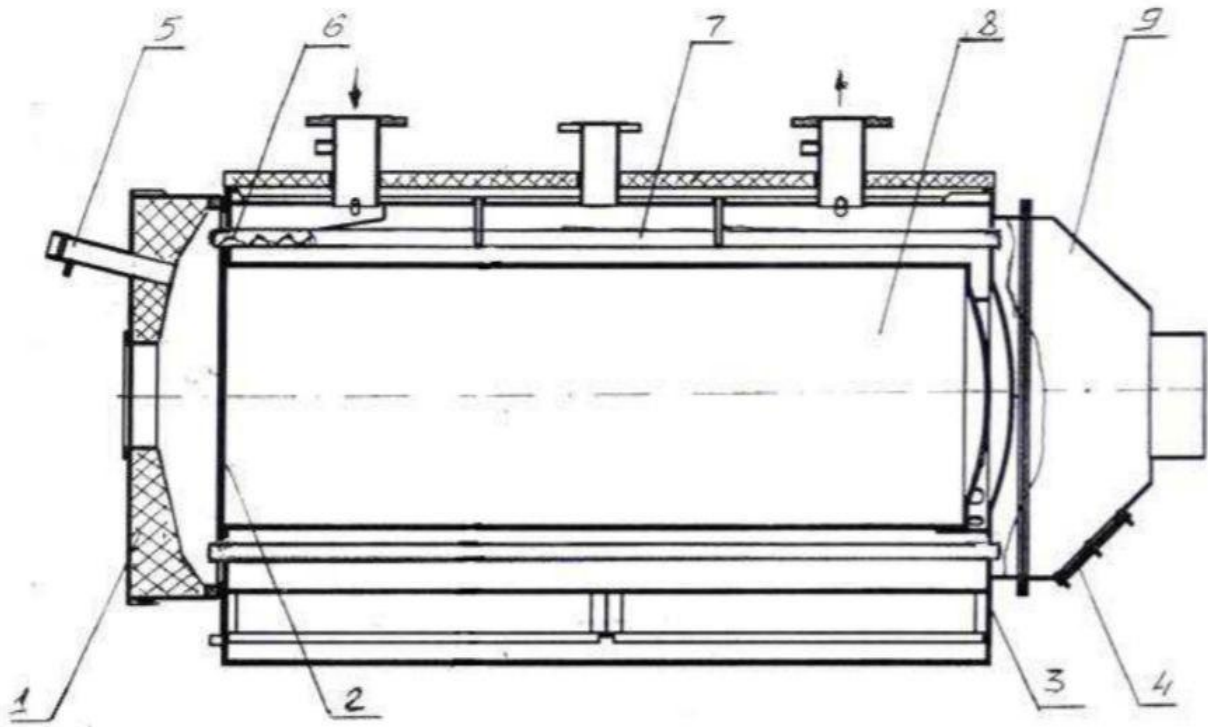


Рис.1.2 Будова котла Aton SAB-0,4

Будова котла. 1- дверцята; 2-стінка передня; 3-стінка задня; 4-вибуховий клапан; 5-оглядова труба; 6-турбулізатор;7-димогарна труба; 8-топка; 9-димохід.

Димохід котла (поз. 9 рис. 1.2) має патрубок для виходу продуктів згоряння, вибуховий клапан (поз. 4 рис. 1.2), штуцер для відводу конденсату або напливів рідкого палива з топки котла. Димохід котла закріплений за допомогою гвинтів, щоб забезпечити можливість зняття її при обслуговуванні котла (очищенні газоходу). Теплоізоляція котла виконана з мінеральної фольгованої вати і кріпиться до обичайки корпусу. Панелі декоративного кожуха кріпляться до корпусу котла, захищаючи неізольовані елементи, і надають котлу призматичну форму. Для монтажу пальника на дверях котла встановлено спеціальний фланець. Вибір типу пальника проводиться на підставі технічних умов на тепло- та газопостачання. Для монтажу пальника на дверях котла встановлено спеціальний фланець. Вибір типу пальника проводиться на підставі технічних умов на тепло- та газопостачання.

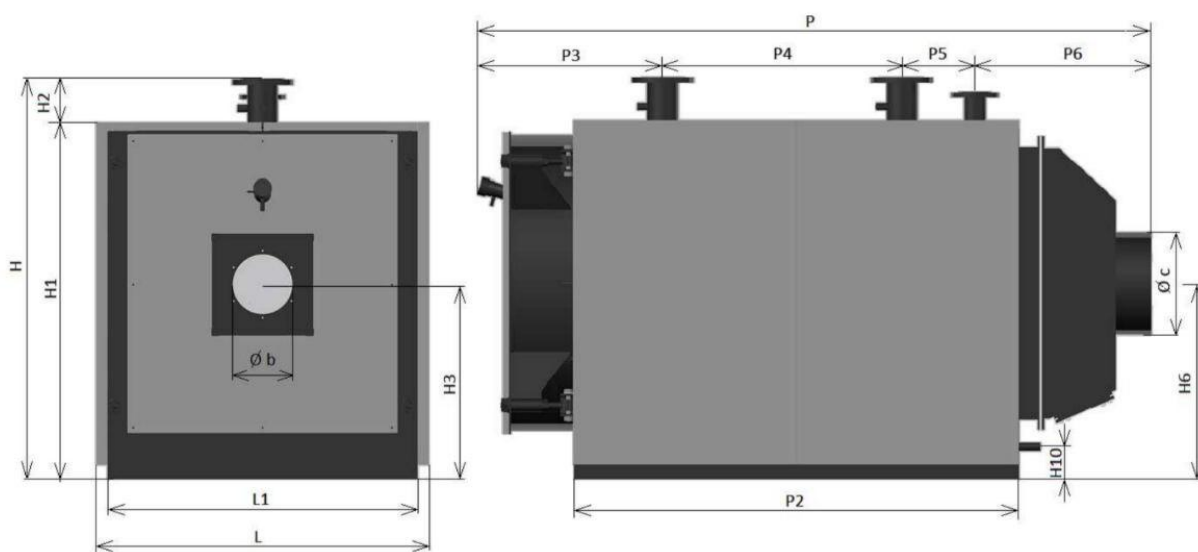


Рис.1.3 Параметри котла Aton SAB-0,4

Табл.1.1 Характеристики котла Aton SAB-0,4

Параметри	H1	H2	H3	H6	H10	L	L1	P	P2	P3	P4	P5	P6	c	b
SAB-0/4	1137	1020	116	555	555	75	970	890	2254	1512	598	480	480702	258	185



Рис. 1.4 Зовнішній вигляд котла Aton SAB-0,4

Табл. 1.2 Технічні характеристики котла Aton SAB-0,4

Найменування параметра	Од. вим.	0,4
Номінальна теплопродуктивність	МВт ±0,7%	0,4
ККД, не менше	%	92
Розрахунковий вид палива		Природний газ за ГОСТ 5542-87
Аеродинамічний опір, не більше	Па	340
Номінальний гідравлічний опір при розрахунковому перепаді температур, не більше	кПа	34
Максимальний робочий тиск води,	бар	6
Максимально допустима температура води на виході з котла (спрацювання захисту)	°C	115
Мінімально допустима температура води на вході в котел	°C	60

Температура вихідних газів при номінальній теплопродуктивності, не менше	°C	160
Номінальний температурний режим		70/90
Обсяг котлової води, не більше	м3	0,423
Викиди, не більше:		
Nox	мг/м3	240
CO	мг/м3	110
Габаритні розміри котла не більше:		
Довжина	мм	2275
Ширина	мм	970
Висота	мм	1405
Маса котла (без пальника), не більше	кг	755

Перевага котла Aton SAB-0,4:

- Двохорова система газоходів в теплообміннику котла забезпечує знижені викиди шкідливих речовин в атмосферу та високий ККД — 92%;
- Котел спроектований за європейськими нормами.
- Теплоізоляція зменшує втрати тепла через обшивку котла.
- Передні дверцята котла відкривається в обидві сторони без демонтажу пальника.
- Великий водяний об'єм.
- Може працювати на різних видах палива в залежності від обраної пальника.
- Розрахунковий термін служби котла становить 20 років.
- Сталевий теплообмінник котла не боїться перепадів температур між падаючої і зворотної лінії в межах допустимого температурного діапазону (115С—60С).

Принцип роботи котла

1. Запуск системи: Газовий котел підключається до газопостачальної системи та заповнюється теплоносієм (водою). Запуск відбувається через електронний блок управління або ручне включення.
2. Подача газу: Газовий клапан контролює подачу палива до пальника. Газ змішується з повітрям у необхідній пропорції для утворення горючої суміші.
3. Розпалювання пальника: Запуск здійснюється за допомогою п'єзо розпалу або електронного запалювання. Горіння забезпечує стабільну подачу теплової енергії до теплообмінника.
4. Нагрів теплоносія: У теплообміннику відбувається передача тепла від продуктів згорання газу до теплоносія. Гарячий теплоносій циркулює в опалювальній системі, забезпечуючи підігрів приміщення або подачу гарячої води.
5. Контроль і регулювання:
 - Термостат: підтримує задану температуру теплоносія, регулюючи інтенсивність горіння.
 - Датчики тиску та температури: запобігають перевищенню допустимих параметрів.
 - Система безпеки: у разі відсутності тяги, загасання пальника або витоку газу робота котла автоматично припиняється.
6. Відведення продуктів згорання: Продукти згорання відводяться через димохід, оснащений системою контролю тяги, що запобігає накопиченню газів у приміщенні.

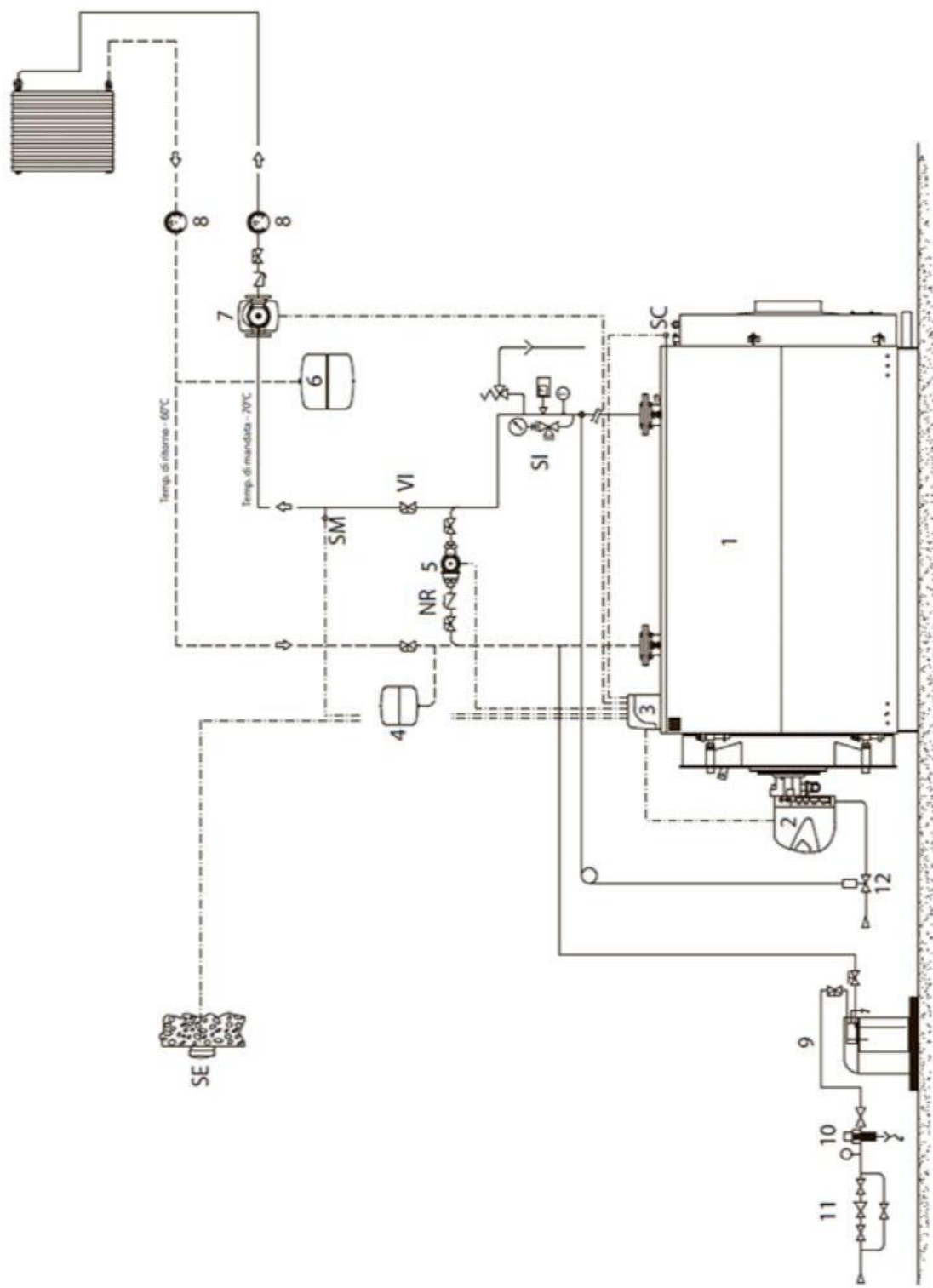


Рис 1.5 Схема обв'язки котла Атон SAB-0,4

На рис. 1.5 позначено наступні елементи:

- 1 - Котел Aton SAB 0.4 кВт
- 2 - Газовий пальник;
- 3 - Панель керування котлом;
- 4 - Розширювальний бак котла;
- 5 - Антиконденсаційний (рециркуляційний) насос;
- 6 - Розширювальний бак системи опалення;
- 7 - Циркуляційний насос системи опалення;
- 8 - Термометр;
- 9 - Система пом'якшення води (хімводоочищення);
- 10 - Фільтр грубого очищення води;
- 11 - Вузол підживлення;
- 12 - Відсічний клапан палива;
- SE - Датчик зовнішньої температури;
- SM - Датчик температури води;
- SC - Датчик котла;
- NR - Зворотний клапан;
- VI - Відсічний клапан;
- SI - Система захисту котла.

Основні функції та можливості:

- Просте управління та налаштування.
- Високий коефіцієнт корисної дії (ККД), завдяки ефективному теплообміннику.
- Захист від аварійних ситуацій (загасання полум'я, відсутність газу, перегрів).
- Можливість роботи з природним або зрідженим газом.

Особливості експлуатації:

1. Перед запуском котла необхідно перевірити герметичність газопроводу і систему безпеки.
2. Регулярне технічне обслуговування (чистка пальників, перевірка датчиків і клапанів) забезпечує довготривалу роботу пристрою.

1.2. Постановка мети та задачі дипломного проектування

Метою даної роботи є створення автоматизованої системи керування та контролю даховою газовою котельнею:

Для виконання вищевказаної мети необхідно забезпечити наступні функції:

1. Захист котла при перевищенні гранично допустимого тиску теплоносія.
2. Захист котла при зниженні рівня води нижче аварійної позначки.
3. Захист котла при перебоях у подачі повітря та тязі димових газів.
4. Автоматичне підтримання тиску рівня води у заданих межах.

Реалізація цих функцій дозволить підвищити надійність та безпеку роботи котлів, оптимізувати процес горіння за рахунок автоматичного підтримання співвідношення газ-повітря, та запобігти аварійним ситуаціям.

Для досягнення поставлених цілей були проведені наступні *завдання*:

1. Виконати аналіз роботи дахової котельні та її системи керування.
2. Визначити особливості роботи, перевали та недоліки системи керування дахової котельні.
3. Забезпечити контроль та керування визначених параметрів дахової газової котельні, а саме температура котла, тиск в системі, наявність тяги та загазованість.
4. Реалізувати віддалений контроль та керування даховою газовою котельнею.
5. Розробити структурну, функціональну схеми та алгоритм роботи для системи керування та контролю дахової газової котельні.

Об'єктом роботи є даховий газовий котел Aton SAB 0.4 кВт

Предметом є система керування дахового газового котла Aton SAB 0.4 кВт

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОТЛОМ

2.1. Структурна схема системи контролю та керування

Структурна схема системи керування котлом є графічним представленням взаємозв'язків основних функціональних блоків, які забезпечують автоматичне або ручне керування процесом роботи котла. Така схема використовується для загального уявлення про систему без деталізації електричних з'єднань чи фізичних розмірів компонентів. (рис. 2.1) Її створюють на етапі проєктування для загального ознайомлення з електроприводом. Напрямок сигналів управління, зворотних зв'язків і параметрів електроприводу позначають стрілками. Найменування функціональних частин вказують як усередині блоків, так і поза ними. Елементи зображуються у вигляді прямокутників або умовних графічних символів, з'єднаних лініями, які демонструють їх взаємозв'язок. На цих лініях зазначають параметри системи.

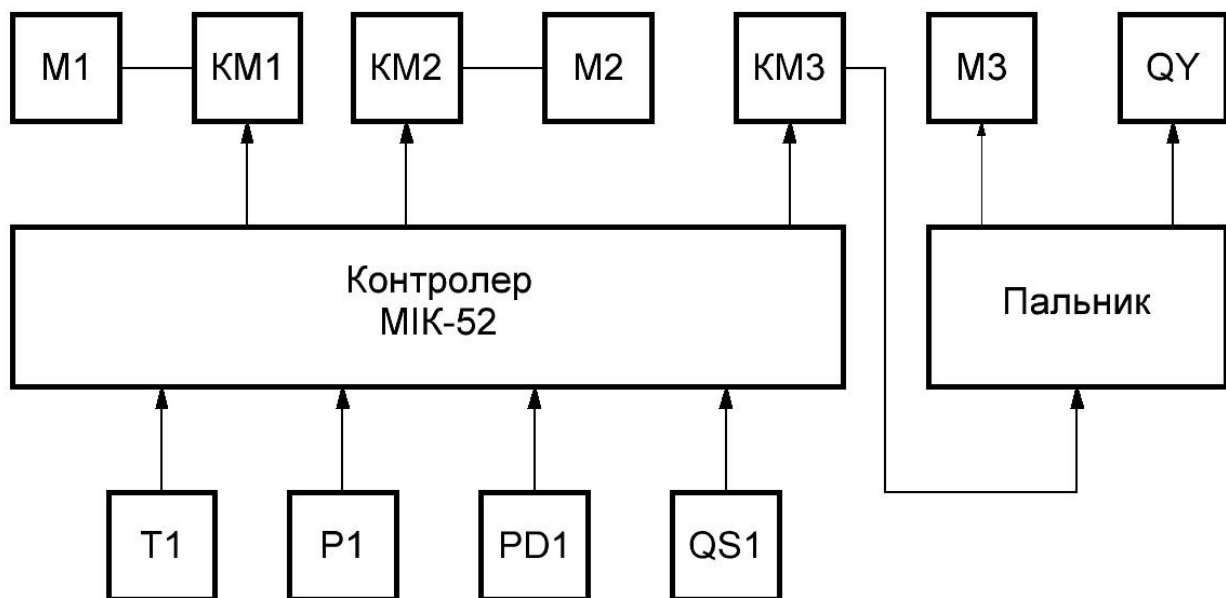


Рис.3.1 структурна схема

Основні елементи структурної схеми:

1. Джерело живлення – забезпечує електричною енергією всі компоненти системи.
2. Контролер (ПЛК або інший блок керування) – виконує основну функцію управління процесами, аналізує дані з датчиків та видає команди на виконавчі механізми.
3. Датчики:
 - Температури – вимірюють температуру води або пари.
 - Тиску – контролюють рівень тиску в системі.
 - Рівня – забезпечують моніторинг рівня води в котлі.
4. Виконавчі механізми:
 - Клапани – регулюють подачу води, газу або пари.
 - Електродвигуни (насоси, вентилятори) – забезпечують циркуляцію води, палива або повітря.
5. Система аварійного вимкнення – відключає котел у разі перевищення критичних параметрів.
6. Комунікаційний модуль – забезпечує зв'язок системи з оператором через пульт або комп'ютер.

Контролер є основою роботи системи. До контролера під'єднується датчики T1 P1 PD1. Датчики передбачають вимірювання різних показників, а саме температури, тиску, тяги тощо. При досягненні цих параметрів, контролер отримує вхідний сигнал про дану ситуацію в процесі вироблення теплової енергії.

При отриманні відповідного сигналу контролер оброблює його там формує управляючий сигнал на відповідний магнітний пускач насоса (KM1, KM2, KM3). Магнітні пускачі вмикають з'єднані з ними насоси і пальник, тобто замикають контакти живлення.

M1 - циркуляційний насос

M2 - насос підживлення

M3 - турбіна пальника

QY - заслонка на пальнику (для суміші газу і повітря)

KM1-3 - Магнітні пускачі (реле)

T1 - датчик температури

P1 - датчик тиску

PD1 - датчик тяги

QS1 - датчик загазованості

Така структурна схема допомагає спростити проектування, модернізацію та обслуговування системи керування котлом.

2.2. Закон керування

Проаналізувавши всі задачі та обмеження на систему керування, було прийнято рішення використовувати «ПІ» закон керування температурою теплоносія. Даний вибір аргументований тим, що регульовані параметри потребують більш точного регулювання і меншої затримки по часу на обробку вимірюваних параметрів.

ПІ-закон (пропорційно-інтегральний закон) є одним із основних алгоритмів, що застосовується в системах автоматичного регулювання, зокрема для керування газовим котлом. Його завдання – забезпечення стабільного й точного підтримання заданих параметрів роботи котла, наприклад температури теплоносія, шляхом корекції управлінського впливу на систему.

Формула ПІ-закону:

У загальному вигляді регулятор описується виразом:

$$U(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt \quad (1)$$

де:

- $U(t)$ — керуючий сигнал, який подається на виконавчий механізм;
- K_p — коефіцієнт пропорційності (підсилення);
- $e(t)$ — відхилення регульованого параметра від заданого значення ($e(t) = y_{\text{зад}} - y(t)$);

- K_i — коефіцієнт інтегрування;
- $\int e(t) dt$ — інтеграл від похибки за час, який відповідає накопиченню минулих відхилень.

Як працює ПІ-регулятор у системі керування газовим котлом:

1. Пропорційна частина ($K_p e(t)$):

Визначає миттєвий вплив на систему пропорційно до величини відхилення $e(t)$. Якщо відхилення велике, регулятор формує потужний керуючий сигнал для швидкого усунення похибки. Однак пропорційний компонент не здатен повністю усунути стале відхилення.

2. Інтегральна частина ($K_i \int e(t) dt$):

Усуває залишкові похибки, які можуть виникати через недосконалість пропорційного регулювання. Враховує накопичені відхилення за час, додаючи компенсаційний вплив для точного досягнення заданого параметра.

3. Спільна дія $K_p K_i$: Забезпечує баланс між швидкістю реакції системи та точністю регулювання. Пропорційна частина відповідає за швидкість реагування на зміни параметрів, інтегральна – за довгострокову стабільність.

Приклад застосування:

1. Вхідні дані: Датчик температури вимірює поточну температуру води в котлі ($y(t)$) та передає її на контролер.
2. Обчислення відхилення: Контролер визначає похибку $e(t) = T_{\text{зад}} - T(t)$ де $T_{\text{зад}}$ – задана температура.
3. Формування сигналу: Регулятор, використовуючи ПІ-закон, формує керуючий сигнал $U(t)$, що подається на газовий клапан або пальник.
4. Реакція системи: Газовий пальник змінює інтенсивність горіння, підвищуючи або знижуючи температуру теплоносія до заданого рівня.

Переваги ПІ-регулювання. Висока точність підтримання параметрів. Усунення сталих похибок. Простота реалізації та ефективність у типових задачах керування.

Недоліки. Може призводити до коливань у системі за неправильного налаштування коефіцієнтів. Відносно повільна реакція порівняно з ПІД-регулятором.

Для оптимальної роботи важливо правильно налаштувати коефіцієнти K_p і K_i залежно від динамічних характеристик системи.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ

Функціональна схема промислового газового котла описує взаємодію ключових елементів, які забезпечують ефективну, безпечну та стабільну роботу обладнання у виробничих умовах. На функціональній схемі вказуються датчики, виконавчі механізми, контролери тощо, та їх фактичне розташування по місцю або у щиті. Обраний вище котел використовується для нагріву великих обсягів теплоносія або виробництва пари, що вимагає ретельного управління, контролю та захисту.

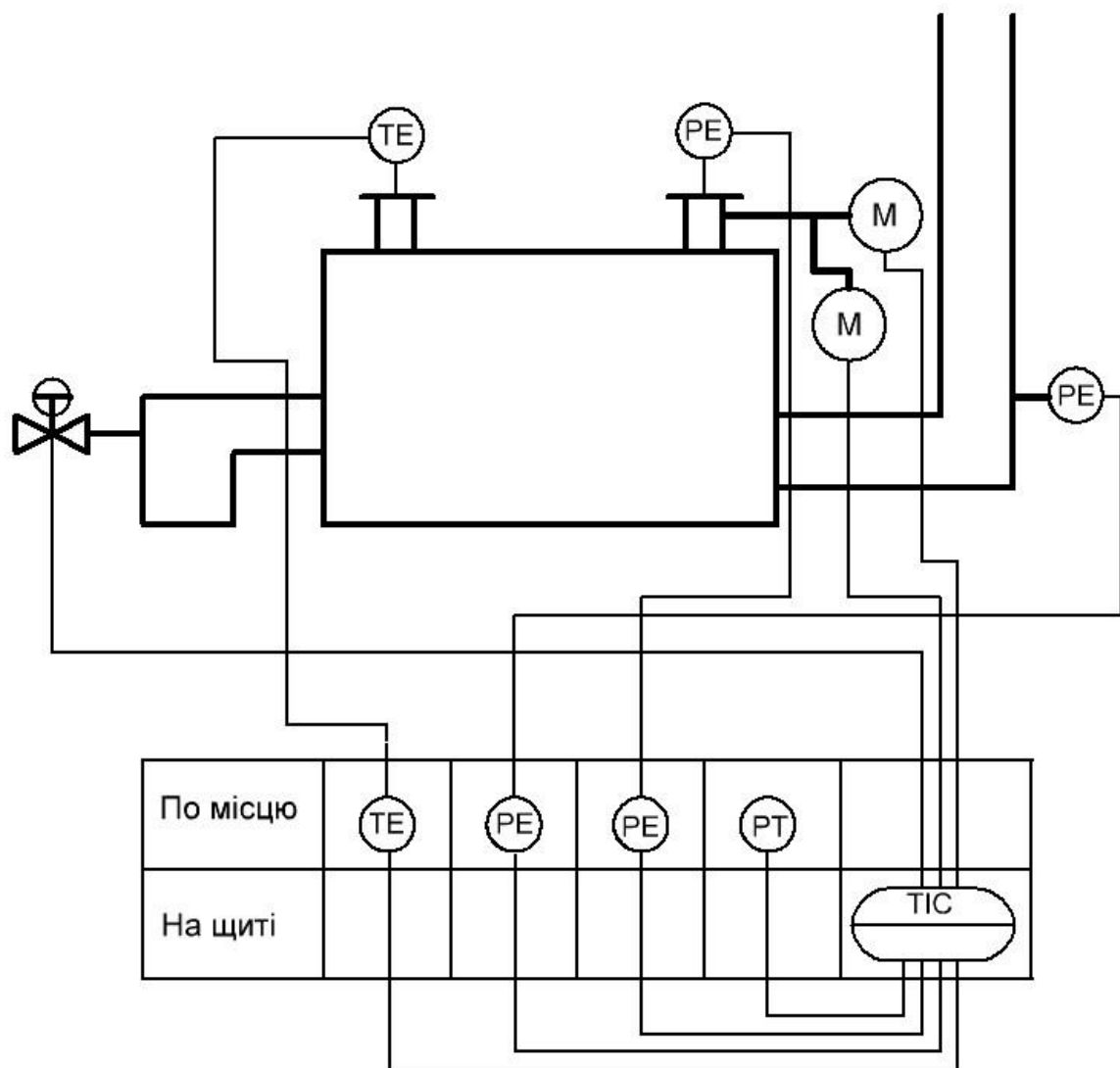


Рис. 3.1 Функціональна схема

На рис. 3.1:

- ТЕ – датчик температури;
- РЕ – датчик тиску;
- РЕ (димохід) – тягометр;
- РТ – датчик загазованості;
- ТІС – контроллер МІК – 51;
- М – насоси циркуляції та підживлення.

Принцип роботи даною системи можна описати наступним чином. Промисловий газовий котел отримує енергію від електромережі (зазвичай трифазної 380 В), яка живить автоматизовану систему управління, вентилятори, насоси та датчики. Газової мережі, що забезпечує подачу природного газу або зрідженого палива для спалювання.

Автоматизований блок керування: Центр управління, який виконує запуск, регулювання потужності, контроль параметрів роботи та безпеки котла. Він обробляє сигнали від датчиків і виконує команди операторів. Програмовані логічні контролери (ПЛК): Забезпечують гнучке налаштування режимів роботи для різних виробничих потреб. Термостати і регулятори тиску: Відповідають за підтримання заданих параметрів теплоносія (температура, тиск).

Для запобігання аваріям у котел інтегровані. Газовий клапан перекриває подачу палива у разі позаштатних ситуацій. Датчики контролю полум'я забезпечують стабільне горіння та зупиняють котел при його відсутності. Датчики тяги і димових газів контролюють роботу системи димовідведення, відключаючи котел у разі порушення тяги. Датчики температури та тиску захищають систему від перегріву або надмірного тиску. Аварійний сигналізатор інформує персонал про несправності.

Пальник основний компонент, де відбувається спалювання газу для вироблення тепла. У промислових котлах використовуються пальники з високою потужністю та регулюванням подачі газу і повітря. Камера згоряння місце

спалювання газу, яке може бути відкритим (природна тяга) або герметичним (з примусовою вентиляцією).

Теплообмінник передає тепло від продуктів згоряння до теплоносія (вода, пара, масло). У промислових котлах теплообмінники мають високу теплову потужність і ефективність.

Циркуляційні насоси: Забезпечують рух теплоносія через котел та систему опалення чи виробничі споживачі. Розширювальні баки компенсують зміну об'єму теплоносія при нагріванні.

Димовідвідна система: Забезпечує видалення продуктів згоряння через димохід або вентиляторну систему для примусової тяги. Датчики контролю вихідних газів вимірюють вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах, забезпечуючи відповідність екологічним стандартам.

Панель управління: Дозволяє оператору контролювати параметри роботи котла, вносити зміни та отримувати інформацію про аварійні ситуації. Автоматизовані системи діагностики постійно стежать за станом обладнання, виявляючи потенційні несправності.

Принцип роботи схеми:

Газ подається до пальника, де він змішується з повітрям і спалюється, нагріваючи теплообмінник. Вода або інший теплоносій, що проходить через теплообмінник, нагрівається до заданої температури, після чого подається до системи споживання. Усі процеси контролюються автоматикою, яка отримує сигнали від датчиків і вживає заходів у разі відхилення параметрів від норми.

Функціональна схема промислового газового котла забезпечує: безпечну експлуатацію, максимальну енергоефективність, відповідність вимогам технологічного процесу, захист персоналу і обладнання від аварійних ситуацій.

Така схема є критично важливою розуміння роботи та для забезпечення стабільної роботи котлів у промислових умовах.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ

4.1. Схема електрична принципова

Електрична принципова схема – це тип електричної схеми, який забезпечує найбільш повне розуміння складу та принципу функціонування пристрою. Такий вид схеми широко застосовується у проектуванні цифрової обчислювальної техніки. Проте, вона не враховує габаритних розмірів та фактичного розташування компонентів об'єкта. За рівнем деталізації принципові електричні схеми знаходяться між функціональними та монтажними схемами.

Електрична схема була розроблена на основі аналізу функціональної та структурної схем, а також з урахуванням конструктивних особливостей і рекомендованих механізмів. Вона представлена на рис. 4.1.

Робота системи, реалізованої за допомогою програмованого логічного контролера (ПЛК), починається з замикання контактів автоматичного вимикача QF6. Після цього контролер МІК-51 запускає систему, яка може працювати як у автоматичному, так і в ручному режимі.

Схема включає два електродвигуни (М1) циркуляційний насос і (М2) тоді коли потрібно включити насос підживлення. Вони активуються через магнітні пускачі КМ1, КМ2. МІК – 51 подає сигнал на пальни, і він після перевірки всіх параметрів, які в нормі, починає свою роботу. Датчики температури (t°), тяги (SPDT), тиску (PDS), загазованості (SL-G) весь час контролюють свої параметри. При відхиленні параметрів від норми, сигнал від датчиків подається на контролер МІК – 51, він в свою чергу подає сигнал на електромагнітний клапан LO для перекриття подачі газу на пальник котла.

Для повного вимкнення системи необхідно розімкнути контакти автоматичного вимикачі QF1-6.

Така схема забезпечує наочність роботи системи та допомагає ефективно організувати керування пристроями.

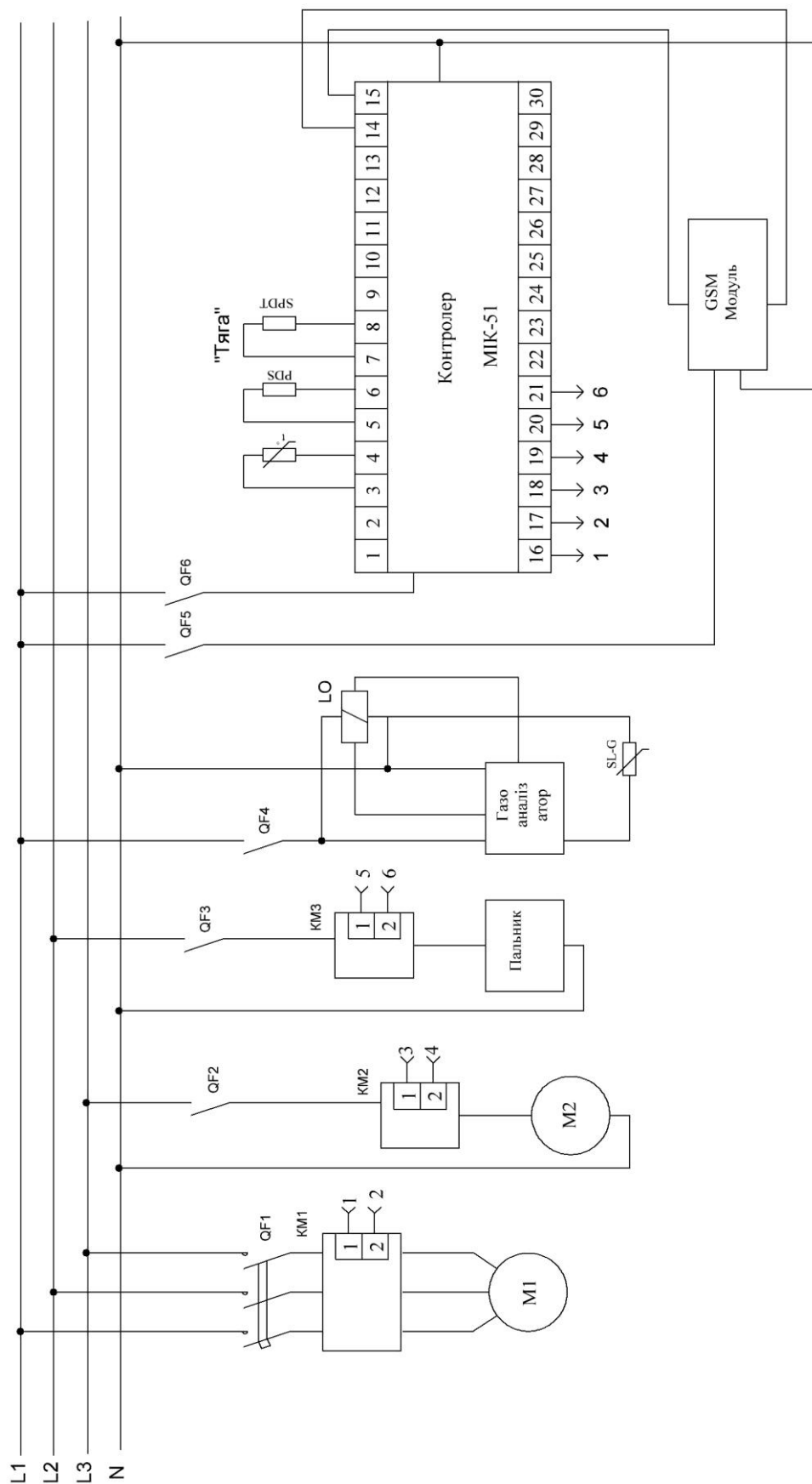


Рис. 4.1. Схема електрична принципова

На даній електричній схемі показані такі елементи:

- M1 – Циркуляційний насос;
- M2 – насос підживлення;
- Пальник – газовий пальник;
- Газоаналізатор – прилад для контролю загазованості;
- SL-G – датчик загазованості;
- LO – електромагнітний клапан;
- QF1-6 – автоматичні вимикачі;
- KM – магнітний контактор;
- t° - датчик температури;
- PDS – датчик тиску;
- SPDT – датчик тяги;
- МК – 51 – мікроконтролер;

GSM модуль – прилад для передачі інформації на пульт диспетчера.

4.2. Виконавчі механізми та датчики

4.2.1. Контроль і регулювання температури теплоносія

Для вимірювання температури використовуються різні типи термометрів:

1. Термометри розширення. Працюють на принципі теплового розширення рідини чи твердих тіл.
2. Манометричні термометри. Використовують залежність тиску рідини або газу при постійному об'ємі від температури.
3. Термопари. Термоелектричні пристрої, засновані на залежності електрорушійної сили в замкнутому контурі з двох різнорідних металів від різниці температур між їх спаями.
4. Термометри опору. Використовують залежність електричного опору металів або напівпровідників від температури.

Тип датчика та виконавчого механізму обираємо за вимогами технічного завдання (згідно проаналізованих параметрів, їх діапазонів зміни, вимог точності та чутливості тощо).

В нашому випадку датчиком температури визначаємо температуру теплоносія на виході з котла.

Тому будемо використовувати датчик температури з уніфікованим вихідним сигналом ТСПУ-002 призначений для вимірювання, перетворення виміряного значення сигнал 4..20мА, 0..10В або RS-485. ТСПУ- 002 використовуються для вимірювання температури навколишнього середовища, рідких, газоподібних і сипучих середовищ в різних галузях промисловості.

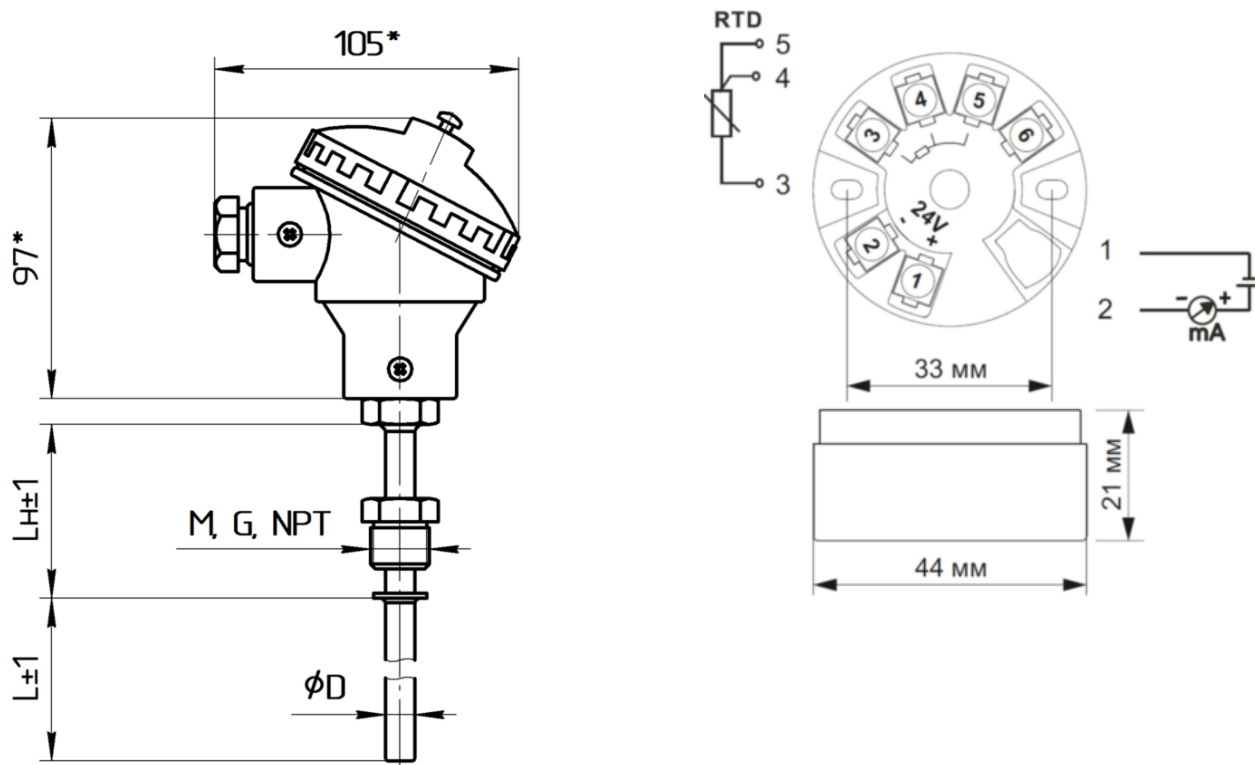


Рис. 4.2. Датчик ТСПУ-002

Робота датчика температури з уніфікованим вихідним сигналом ТСПУ-002 (4-20мА, 0..10В) заснована на властивості міді (платини) змінювати електричний опір в залежності від температури середовища. Блок перетворення перетворює значення опору в струмовий сигнал (сигнал напруги) пропорційний значенню температури. Зміна сили струму (напруги) реєструється вторинним приладом, в вимірювальну схему якого включений ПТУ.

Конструкція ТСПУ- 002 нерозбірна.

Термоопір відрізняються матеріалом чутливого елемента: ТСМ – мідь, ТСП – платина. У свою чергу, ПММ ділиться на 50М і 100М, а ТСП на 100П, Pt100.

Відрізняються ТСМ від ТСП тільки діапазоном температур, що вимірюються: ТСМ (-50..+180°C), а ТСП (-50..+500°C).

Вихід 4-20 мА (або 0-20 мА) забезпечує підвищену стійкість до електричних перешкод та має малі втрати сигналу при використанні дуже довгих кабелів, він здатний без втрат передаватися на сотні та сотні метрів. Як додатковий бонус, сигнал 4-20мА забезпечує виявлення стану помилки, так як сигнал, навіть на найнижчому значенні, як і раніше, активний. Тобто в крайньому положенні «нуль» датчик, як і раніше, видає сигнал 4мА і якщо значення коли-небудь переходить у 0мА, то з приладом явно щось не так. Цього не можна сказати для датчиків з виходом 0-10В, оскільки значення нуль вольт може означати як нульове положення, так і те, що Ваш датчик просто перестав функціонувати.

Особливості датчиків ТСПУ-002:

мінімальна довжина монтажною частини – 60мм;

струм споживання, не більше - 40мА;

напруга живлення постійного струму - (20..28);

матеріал захисної арматури - 12Х18Н10Т;

зв'язок перетворювача з вимірювальною апаратурою - гальванічний;

ступінь захисту корпусу - IP65.

Особливості дії:

У провідників опір збільшується з підвищенням температури (додатний температурний коефіцієнт).

У напівпровідників опір зменшується при підвищенні температури (від'ємний температурний коефіцієнт).

Електричний опір провідника або напівпровідника є функцією температури, причому вид цієї функції залежить від матеріалу, з якого виготовлено термометр.

Таким чином, вибір конкретного типу термометра залежить від вимог до точності вимірювання, робочого середовища та умов експлуатації системи.

Для чуттєвих елементів термометра опору використовують чисті метали, які відповідають наступним вимогам:

1. Метал не повинен окислюватись і вступати в контакт з оточуючим середовищем.

2. Температурний коефіцієнт електричного опору повинен бути високий та незмінний. Для металів, які використовують в термометрах опору, температурні коефіцієнти приймають в інтервалі від 0 до 100⁰С – відношення

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100R_0}, \quad (2)$$

де R_0 і R_{100} - опір температури при 0 і 100⁰С.

3. Опір повинен змінюватись зі зміною температури по прямої чи плавної кривої без різких відхилень і явлення гістерезисна.

4.2.2. Мікроконтролер МІК-51

МІК-51 - це компактний малоканалъный багатофункціональний мікропроцесорний контролер, призначений для автоматичного регулювання й логічного керування технологічними процесами. Він призначений для застосування в електротехнічній, енергетичній, хімічній, металургійній, харчовій, цементній, скляній і іншій галузях промисловості.

МІК-51 ефективно вирішує як порівняно прості, так і складні завдання керування. Завдяки малоканалъности МІК-51 дозволяє, з одного боку, економічно управляти невеликим агрегатом і, з іншої, забезпечити високу живучість великих систем керування.

Контролер МІК-51 дозволяє вести локальне, каскадне, програмне, супервізоре, багатоз'язане регулювання.

Архітектура контролера забезпечує можливість вручну або автоматично включати, відключати, перемикаєти й реконфігурувати контури регулювання, причому всі ці операції виконуються ненаголошено незалежно від складності структури керування. У сполученні з обробкою аналогових сигналів контролер МІК-51 дозволяє виконувати також логічні перетворення сигналів і виробляти не тільки аналогові або імпульсні, але й дискретні команди керування. Логічні

функціональні блоки формують логічну програму крокового керування з аналізом умов виконання кожного кроку, завданням контрольного часу на кожному кроці й умовним або безумовним переходом програми до заданого кроку. У сполученні з обробкою дискретних сигналів контролер дозволяє виконувати також різноманітні функціональні перетворення аналогових сигналів і виробляти не тільки дискретні, але й аналогові керуючі сигнали.

МІК-51 містить засобу оперативного керування, розташовані на лицьовій панелі контролера. Ці засоби дозволяють вручну змінювати режими роботи, установлювати завдання, управляти ходом виконання програми, вручну управляти виконавчими пристроями, контролювати сигнали і знаходити помилки. Стандартні аналогові й дискретні датчики й виконавчі пристрої підключаються до контролера МІК-51 за допомогою індивідуальних кабельних з'єднань. Усередині контролера сигнали обробляються в цифровій формі.

Контролери МІК-51 можуть поєднуватися в локальну керуючу мережу шинної конфігурації. Для такого об'єднання ніяких додаткових пристроїв не потрібно. Через мережу контролери можуть обмінюватися інформацією в цифровій формі.

Програмування контролера виконується за допомогою клавіш передньої панелі або по інтерфейсу за допомогою спеціального програмного забезпечення - візуального редактора FBD-Програм АЛЬФА. Програмний пакет редактор FBD-Програм АЛЬФА поширюється безкоштовно.

Система програмування реалізована відповідно до вимог стандарту (МЕК) ІЕС 1131-3 і призначена для розробки прикладного програмного забезпечення збору даних і керування технологічними процесами, виконуваними на програмувальних контролерах.

Як мова програмування в системі реалізована мова функціональних блокових діаграм Function Block Diagram (FBD), що надає користувачеві механізм об'єктного візуального програмування.

Процес програмування зводиться до того, що шляхом послідовного натискання декількох клавіш із бібліотеки, що знаходиться в постійній пам'яті, викликаються потрібні функціональні блоки, ці функціональні блоки поєднуються в систему заданої конфігурації й у них встановлюються необхідні параметри настроювання.

За допомогою вбудованої енергонезалежної пам'яті запрограмована інформація зберігається при відключенні живлення.

Контролер МІК-51 являє собою комплекс технічних засобів. У його состав входить центральний мікропроцесорний блок контролера й клемо-блоковий з'єднувач. Центральний блок перетворює аналогову й дискретну інформацію в цифрову форму, веде обробку цифрової інформації й виробляє керуючі впливи.

Контролер МІК-51 це - пристрій, що дозволяє користувачеві вибрати потрібний комплект модулів розширення (УСО - пристрою зв'язку з об'єктом) і блоків відповідно до числа й виду вхідних-вихідних сигналів. Його склад і ряд параметрів визначаються споживачем і вказуються в замовленні.

Основні властивості контролера МІК-51:

- До 9 незалежних контурів регулювання, кожний з яких може бути локальним або каскадним, з аналоговим або імпульсним виходом, з ручним, програмним (у тому числі багатопрограмним) або супервізорним задачником.
- Більше 50 типів зашитих у ПЗУ функціональних блоків безперервної й дискретної обробки інформації, включаючи функціональні блоки ПИД регулювання, функціональні блоки математичних, динамічних, нелінійних, аналого-дискретних і логічних перетворень.
- До 99 використовуваних блоків з вільним їхнім заповненням будь-якими функціональними блоками з бібліотеки й вільним конфігуруванням між собою й із входами-виходами контролера. Ручна установка або

автопідстроювання будь-яких властивостей, параметрів і коефіцієнтів у будь-яких функціональних блоках.

- Зміна режимів керування, включення/відключення, перемикання й ре конфігурація контурів регулювання будь-якого ступеня складності.
- Оперативне керування контурами регулювання за допомогою клавіш лицьової панелі, 2-х чотирьох розрядних, і одного трьох розрядного цифрових індикаторів і набору світлодіодів, що дозволяють міняти режими, установлювати завдання, управляти виконавчими механізмами, контролювати сигнали, сигналізувати аварійні ситуації. При програмному регулюванні засобу оперативного керування дозволяють вибрати необхідну програму, пускати, зупиняти, і скидати програму, переходити до наступної ділянки програми, а також контролювати хід виконання програми.
- Об'єднання до 32 контролерів у локальну керуючу мережу, причому в цю мережу можуть включатися також і інші моделі контролерів.

Контролери МІК-51 можуть комплектуватися модулем розширення.

Кількість входів-виходів у базовій моделі контролера:

- Аналогові входу - 4 (2 універсальних, 2 уніфікованих).
- Аналогові виходу - 1.
- Дискретні входу - 3.
- Дискретні виходу - 5.

Моделі й коди модулів розширення (УСО) - див. розділ 2.2.1:

- МР- 51-01: 8 дискретних входів, 1 імпульсний вхід
- МР- 51-02: 4 дискретних входи, 4 дискретних виходи, 1 імпульсний вхід*
- МР- 51-03: 8 дискретних виходів
- МР- 51-04: 8 дискретних входів, 1 імпульсний вхід, 1 аналоговий вихід
- МР- 51-05: 4 дискретних входи, 4 дискретних виходи, 1 імпульсний вхід, 1 аналоговий вихід
- МР- 51-06: 8 дискретних виходів, 1 аналоговий вихід

Базова модель контролера МІК-51 і модулі розширення МР-51 мають у своєму складі набір аналогових і дискретних входів-виходів, які наведені нижче в таблицях.

При замовленні контролера може бути замовлений тільки один модуль розширення.

Входу-Виходу базової моделі контролера МІК-51 (без модуля розширення).

Таблиця 4.1 Характеристики МІК -51

Модель	Аналоговий		Дискретний		Імпульс
	Вхід	Вихід	Вхід	Вихід	
МІК- 51-00	4	1	3	5	-

Входу-Виходу модулів розширення УСО МР-51

Таблиця 4.2 Характеристики МІК -51

Модель	Аналоговий		Дискретний		Імпульс
	Вхід	Вихід	Вхід	Вихід	
МР- 51-01	-	-	8	-	1
МР- 51-02	-	-	4	4	1
МР- 51-03	-	-	-	8	-
МР- 51-04	-	1	8	-	1
МР- 51-05	-	1	4	4	1
МР- 51-06	-	1	-	8	-
МР- 51-07	-	3	-	-	-

Примітки.

«-» - вхід (вихід) відсутній

імпульсний вхід із числа дискретних входів

Сумарна кількість входів-виходів контролера МІК-51 із установленим модулем розширення

Таблиця 4.3 Характеристики МІК -51

Модель	Моде	Аналогов		Дискретний		Імпул
		Вхі	Вих	Вхід	Вих	
МІК- 51-		4	1	3	5	-
МІК- 51-	МР-	4	1	11	5	1
МІК- 51-	МР-	4	1	7	9	1
МІК- 51-	МР-	4	1	3	13	-
МІК- 51-	МР-	4	2	11	5	1
МІК- 51-	МР-	4	2	7	9	1
МІК- 51-	МР-	4	2	3	13	-
МІК- 51-	МР-	4	4	3	5	-

Примітки.

* без модуля розширення

«-» - вхід (вихід) відсутній

імпульсний вхід із числа дискретних входів.

Елементи оперативного керування

Для кращого спостереження й керування технологічним процесом контролер МІК-51 обладнаний активною чотирьох розрядною цифровою індикацією. Для відображення вимірюваної величини використовується дисплей **ПАРАМЕТР**, заданої крапки - дисплей **ЗАВДАННЯ**, значення керуючого впливу - дисплей **ВИХІД**. Лицьова панель контролера містить необхідну кількість клавiш обслуговування й сигналізаційних світлодіодних індикаторів для різних статусних режимів і сигналів. Зовнішній вигляд лицьової панелі й елементів оперативного управління контролера МІК-51 наведений на рис.

Призначення елементів оперативного управління контролера МІК-51 - дисплеїв, світлодіодних індикаторів і клавiш наведено в розділах.



Рис 4.3 Елементи оперативного керування

Призначення дисплеїв лицьової панелі. Дисплей, призначення дисплея

- **ПАРАМЕТР** У режимі РОБОТА з'являється значення обраної вимірюваної величини, регульованої величини та ін.

У режимі ПРОГРАМУВАННЯ сигналізує номер обраного параметра.

- **ЗАВДАННЯ** В режимі РОБОТА сигналізує значення заданої крапки обраного контур регулювання або значення заданої крапки обраного програмного задачника або інше значення технологічного параметра. У режимі ПРОГРАМУВАННЯ сигналізує значення параметра програмування або конфігурації.

- **ВИХІД** У режимі РОБОТА сигналізує значення керуючого впливу, що подається на аналоговий або імпульсний вихід пристрою або сигнал положення виконавчого механізму (в %) обраного регулятора. Сигналізує значення керуючого впливу задатчика обраної користувальницької панелі індикації й керування.

У режимі ПРОГРАМУВАННЯ на даний дисплей виводяться значення допоміжних параметрів.

- **КАНАЛ** У режимі РОБОТА сигналізує номер обраного каналу регулятора, програмного задатчика, номер користувальницької панелі.

У режимі ПРОГРАМУВАННЯ сигналізує номер рівня програмування.

Індикатор. Призначення індикатора

- **Рег** Світиться, якщо обрано панель індикації й керування регулятором. Перемикання номера регулятора здійснюється за допомогою клавіш "НК" і "Максимальна кількість регуляторів задається при програмуванні.

- **Прг** Світиться, якщо обрано панель індикації й керування програмним задатчиком. Перемикання номера каналу програмного задатчика здійснюється за допомогою клавіш "НК" і "NKN/. Максимальна кількість каналів задається при програмуванні.

- **Інд** Світиться, якщо обрано користувальницьку панель індикації й керування. Інформація і керування визначаються користувачем при програмуванні у функціональному блоці USER(63).

- **Вх** Світиться, якщо обрано панель індикації входів функціональних блоків.

- **Вих** Світиться, якщо обрано панель індикації виходів функціональних блоків.

- **Прм** Світиться, якщо обрано панель індикації й редагування параметрів функціональних блоків.

- **ВІД** Світиться тільки в режимі ПРОГРАМУВАННЯ, якщо існує системний або програмувальна ВІДМОВА.

- **ОШ** Світиться в режимі ПРОГРАМУВАННЯ й мигає в режимі РОБОТА При наявності помилок програмування.

- **►** Світиться, якщо програмний задатчик перебуває в режимі "робота".

- **||** Світиться, якщо програмний задатчик перебуває в режимі "очікування" чи "зупинок".

- **■** Світиться, якщо програмний задатчик перебуває в режимі "стоп" або "кінець програми".

- **КУ** Світиться (залежно від обраної структури регулятора), якщо регулятор перебуває в каскадному режимі керування.

- **ЛУ** Світиться, якщо регулятор перебуває в локальному режимі керування.

- **РУ** Світиться, якщо регулятор перебуває в ручному режимі керування, і не світиться, якщо регулятор перебуває в автоматичному режимі керування.

- **СУ** Світиться, якщо регулятор перебуває в режимі стеження керування (tracking).

- **AL** Світиться, якщо спрацювала сигналізація про вихід за встановлені межі обраних параметрів.

- **ІН** Мигає, якщо відбувається передача даних по інтерфейсному каналу зв'язку.

- **ПР** Світиться, якщо контролер МИК-51 перебуває в режимі ПРОГРАМУВАННЯ.

Не світиться, якщо контролер перебуває в режимі РОБОТА.

- **▲** Світиться, якщо значення обраної вимірюваної величини перевищує значення уставки сигналізації відхилення MAX.

(дисплей ПАРАМЕТР)

- Світиться, якщо значення обраної вимірюваної величини менше значення уставки сигналізації відхилення MIN.

(дисплей ПАРАМЕТР)

- ▲ Світлодіодний індикатор стану ключа БІЛЬШЕ імпульсного або трипозиційного регулятора. Світиться при включеному ключі БІЛЬШЕ. (дисплей ВИХІД)

- Світлодіодний індикатор стану ключа МЕНШЕ імпульсного або трипозиційного регулятора. Світиться при включеному ключі МЕНШЕ. (дисплей ВИХІД)

Клавіша Призначення клавіш

- [↺] Меню У режимі РОБОТА за допомогою даної клавіші здійснюється перемикання панелей індикації позначених світлодіодними індикаторами, розташованими під дисплеєм ЗАВДАННЯ. Кожне натискання клавіші МЕНЮ приводить до перемикання на наступний праворуч індикатор.



Рис. 4.4 Індикаційна панель

У режимі ПРОГРАМУВАННЯ дана клавіші виконує функцію скасування виконаних дій, операцій.

- [↵] Ввід Клавіша призначена для підтвердження виконуваних дій, операцій і для фіксації значень, що вводяться. Наприклад, підтвердження переходу з автоматичного режиму роботи в режим ручного керування й назад, фіксація введення зміненої заданої крапки, просування по рівнях програмування й т.п.

- [№кн ↑] Клавіша призначена для зміни сигналізуючого каналу (входу, регулятора, кроку програмного задатчика) у бік збільшення. У режимі

конфігурування використовується для налаштування умов переходів програмного задатчика.

- [Некн ↓] Клавiша призначена для зміни сигналізуючого каналу (входу, регулятора, програмного задатчика) у бік зменшення.
- [P/A] Кожне натискання клавiші викликає перехід регулятора з автоматичного режиму роботи в режим ручного керування й назад (разом з натисканням клавiші [↻], для підтвердження виконання операції переходу).
- [Завд.] Клавiша призначена для виклику сигналізуючого значення внутрішньої заданої крапки для редагування або для перемикання режимів заданих величин. Також клавiша призначена індикації заданого або обчисленого співвідношення в регуляторі співвідношення.
- [▲] Знач. Клавiша "більше". При кожному натисканні цієї клавiші здійснюється збільшення значень, заданої крапки, вихідного сигналу керування (керуючого впливу) або значення змінюваного параметра. При втриманні цієї клавiші в натиснутому положенні збільшення значень відбувається безупинно.
- [▼] Знач. Клавiша "менше". При кожному натисканні цієї клавiші здійснюється зменшення значень, заданої крапки, вихідного сигналу керування (керуючого впливу) або значення змінюваного параметра. При втриманні цієї клавiші в натиснутому положенні зменшення значень відбувається безупинно.

Зміна значень виведених на різні дисплеї (цифрові індикатори)



Рис. 4.5. Схема позначень дисплея

4.2.3. Циркуляція теплоносія в системі теплопостачання

Мережеві насоси - застосовуються для того щоб відбувалася постійна циркуляція води в системі; Мережеві насоси використовуються для рідин з високою температурою, і так само потрібно враховувати якість води, в ній мають бути відсутні механічні домішки. Наявність домішок зменшить термін експлуатації насоса.



Рис. 4.6. Насос відцентровий моноблочний BST 50-125/4, 3000

Табл. 4.5 Параметри Насоса BST 50-125/4, 3000

Характеристики	
Виробник	BTS Engineering
Продуктивність, м.куб / год	60
Висота подачі, м.вод.ст	18
Потужність, кВт	4
Діаметр вхідного патрубку	65
Діаметр вихідного патрубку	50
Частота обертання, об/хв	3 000
Ступінь захисту	IP55
Електроживлення	3x380 V, 50 Hz
Об'єм, м.куб	0,06

Продуктивність (nom), м.куб/год	60
Температура (max), С	120
Висота подачі (nom), м.вод.ст	18
Тип насосу	Консольний
Тип приводу	Електричний
Тип установки	горизонтальний
Тип комплектації	з двигуном
Гарантія, місяців	12
Застосування	водопостачання, неагресивних рідин, підвищення тиску, систем опалення,

4.2.4. Контроль тиску води в системі



Рис. 4.7. Датчик тиску 24B 0-16 бар 1/4" LEO PS16

Датчик тиску 24B 0-16 бар 1/4" LEO PS16 призначений для загального промислового застосування, вимірювання і перетворення в аналоговий сигнал (4-20 міліампер, уніфікований) тиску газу або рідини. Вони не містять вбудованого амортизатора пульсацій (демпфера). Залежно від обраної специфікації перетворювача доступні наступні діапазони вимірювання: 0-1, 0-4, 0-6, 0-10, 0-16 и 0-25.

Технічні характеристики:

- Робоче середовище: повітря, гази, рідини (в т.ч. масла)
- Тип вимірюваного тиску: абсолютне / відносне
- Діапазони вимірювань, бар: 0-1, 0-6, 0-10, 0-16, 0-25
- Діапазон допустимих температур робочого середовища, °C: от 0 до +80
- Діапазон компенсованих температур, °C: от 0 до +80
- Межа основної зведеної похибки: $\leq \pm 1\%$ діапазону вимірювань
- Варіація і повторюваність: $\leq 0.1\%$
- Вплив температури на точність вимірювань (на положення нуля шкали і на діапазон вимірювань): $\pm 0.1-0.3\%$ діапазону вимірювань/10°C
- Час реакції, мс: ≤ 35
- Граничний тиск перевантаження (статистичне): 3-кратний діапазон вимірювань, але не більше 75 бар
- Тиск розриву чутливого елемента: 3-кратний діапазон вимірювань, але не більше 100 бар
- Матеріал частин, що контактують із середовищем: нержавіюча сталь AISI 304
- Корпус: нержавіюча сталь AISI 316L
- Вібростійкою синусоїдальний вплив: 5-2000 Гц з прискоренням 15 g
- Вібростійкою випадкове вплив: 5-1000 Гц з прискоренням 7.5 g
- Стійкість до ударів: удар 200 g протягом 1 мс
- Маса, кг: 0.2-0.3

4.2.5. Підживлювальні насоси

Підживлювальні насоси - дані насоси використовуються для компенсації води в системі, і для її поповнення.



Рис. 4.8 Підживлювальні насоси

При низькому або високому тиску води електроконтактний манометр (ЕКМ) активує установку водопостачання, зокрема насос підживлення. Це забезпечує підтримку заданого тиску або підвищення тиску води в системі.

Табл. 4.6 характеристика насосної станції

Характеристика насосної станції	
Виробник	GRAND
Країна виробник	Польща
Вага	10.5 кг
Максимальний робочий тиск	5 бар
Максимальна пропускна здатність	3.6 куб. м/год
Максимальний напір	38 м
Спосіб установки насоса	Поверхневий
Потужність	1.1 кВт.
Напруга мережі	220-240 В
Ступінь захисту IP	44

Ця система дозволяє автоматично підтримувати стабільний тиск води в системі, забезпечуючи надійність і безпеку експлуатації.

4.2.6. Контроль тяги

Для стабільної роботи котла необхідно забезпечити постійний підведення певного об'єму повітря до топки та ефективне відведення продуктів згоряння через димохід у атмосферу.

Для моніторингу тяги використовуються тягометри, які вимірюють силу тяги в димовідвідній системі.

Датчик тиску Аплисенс РС-28 призначений для виміру розрідження, надлишкового та абсолютного тиску газів, парів і рідин, з подальшим перетворенням в стандартний уніфікований сигнал 4 - 20 мА. Діапазон вимірювань від 0 - 2,5 кПа до 0 - 100 МПа (надлишковий тиск і розрідження); від 0 - 20 кПа до 0 - 8 МПа (абсолютний тиск). Допустима перевантаження: (4 x діапазон +60 кПа) не більше ніж 120 МПа. Основна приведена похибка: для діапазону 0 - 40 кПа і більше 0,2 %. Діапазон термокомпенсації 0 - 80 °С спец. виконання (-20) - 70 °С спец. виконання (-30) - 50 °С

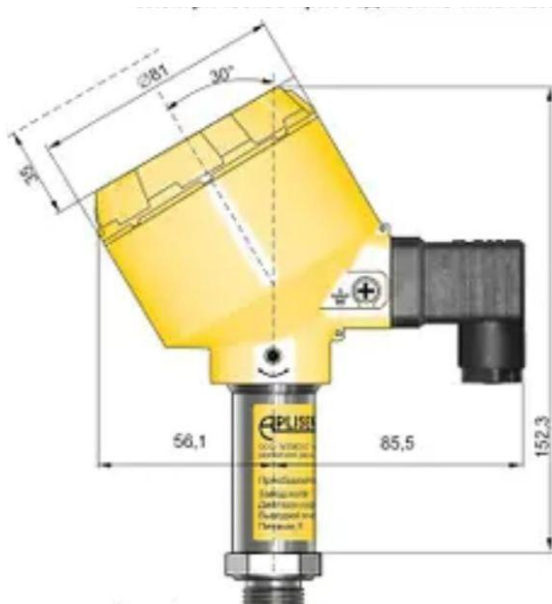


Рис. 4.9 Датчик тяги РС-28

Діапазон граничних температур навколишнього середовища (-50) - 85 °С. Діапазон вимірювання температур середовища (-50) - 120 °С – (безпосереднє

вимірювання) понад 120 °C вимірювання з використанням мембран- ного роздільника, радіатора або імпульсної трубки **ЗАУВАЖЕННЯ:** не допускати замерзання середовища вимірювання імпульсної трубки або поблизу штуцера перетворювача.

- Вихідний сигнал 4 - 20 мА (2-х провідна лінія) за замовленням 0 - 10 В (3-х провідна лінія)

- Матеріал штуцера і мембрани 00H17N14M2 (316Lss)

- Матеріал корпусу 0H18N9 (304ss)

- Напруга живлення, В 8 - 36 (постійного струму) 14 - 36 (при вкл. підсвічуванню ALW) 12 - 28 для вик. Ех для виходу по напрузі 13 - 30

Принцип роботи системи контролю тяги:

- Під час нормальної роботи котла температура продуктів згоряння залишається стабільною.

- У разі підвищення температури сигналізується про відсутність належної тяги.

- Мембрана датчика нагрівається, і тягометр передає дані мікроконтролеру.

- Мікроконтролер, отримавши сигнал про порушення тяги, активує електромагнітний клапан, який перекриває подачу газу до котла, забезпечуючи безпеку роботи системи.

Такий підхід дозволяє своєчасно реагувати на порушення тяги, запобігаючи аварійним ситуаціям і забезпечуючи безперебійну роботу.

4.2.7. Контроль загазованості в приміщенні

Давач пропану (бутану) ДП-14 призначений для автоматичного безперервного контролю змісту пропану (бутану) в повітряному середовищі

Сфера застосування: Використовуються в газифікованих виробничих, комунальних і побутових приміщеннях для забезпечення безпеки.



Рис. 4.10 Давач пропану (бутану) ДП-14

Давач відповідає вимогам «Технічного регламенту обладнання та захисних систем, призначених для використання в потенційно вибухонебезпечних середовищах», затвердженого постановою КМУ від 28 грудня 2016 р. № 1055, виготовляється у вибухозахищеному виконанні та мають маркування:

II 2G Ex db IIB T4/H₂ Gb

Робоче положення давача ДП- 14 вертикальне, вимірювальною голівкою вниз.

Газоаналізатор "Варта 1-03.24" стаціонарний, промисловий призначений для:

1. Безперервного та автоматичного контролю в повітрі приміщень та відкритих просторах:
 - концентрацій горючих газів та парів горючих рідин:
 - метану (CH_4) та природного газу;
 - концентрацій пропан-бутану (C_3H_8);
 - концентрацій чадного газу, окису вуглецю (CO);
 - концентрацій аміаку (NH_3);
 - температури.
2. Видання інформації на дисплеї при перевищенні встановлених концентрацій газів у контрольованій зоні;
3. Подання електричних сигналів на зовнішні виконавчі пристрої, а також комутації зовнішніх електричних кіл.



Рис. 4.11 Газоаналізатор "Варта 1-03.24"

Принцип роботи:

- Сигналізатор безперервно аналізує склад повітря.

- У разі досягнення небезпечної концентрації газу: Генерується звуковий сигнал. Вмикається світлова індикація.
- Передається **вихідний сигнал** для активації відсікаючого газового клапана, що блокує подачу газу до системи.

Ці прилади забезпечують надійний контроль і своєчасне реагування на ситуації, пов'язані із загазованістю приміщень, що є важливим елементом безпеки в газифікованих об'єктах.



Рис. 4.12 електромагнітний клапан M16/RM N.C

Нормально закритий електромагнітний клапан із ручним взводом забезпечує автоматичне припинення подачі газу в наступних випадках:

- Спрацьовування сигналізатора загазованості (при виявленні метану, зрідженого газу, чадного газу тощо).

- Активація термостата безпеки.
- Відсутність напруги в електромережі.

Подвійний рівень безпеки:

Клапан може бути зведений вручну тільки за умови:

1. Наявності напруги в мережі.
2. Відсутності сигналів тривоги від сигналізатора витоку газу.

Ця конструкція забезпечує високу надійність і безпеку експлуатації газового обладнання.

Технічні характеристики електромагнітних клапанів M16/RM N.C

Робоче середовище: сухі, неагресивні гази.

З'єднання: Різьбові (латунний корпус): DN 15 ÷ DN 25 (відповідно до ISO 7/1). Різьбові з'єднання: DN 20 ÷ DN (згідно з ISO 7/1). Фланцеві (PN 16): DN 65 ÷ DN 200 (згідно з ISO 7005).

- Робочий температурний діапазон: від -40 до +60 °C.
- Електроживлення: 230 В.
- Споживана потужність: 8 Вт.
- Максимальний робочий тиск: 500 м бар або 6 бар.
- Швидкість закриття: менше 1 с.
- Ступінь захисту: IP65.
- Матеріали корпусу: алюміній, латунь.

Ці характеристики забезпечують надійність та ефективність роботи клапанів у системах з різними вимогами до тиску та температурного режиму.

4.2.8. Газовий пальник

Газовий пальник - це звичайний змішувач, який забезпечує формування газоповітряної суміші, окислювальної в камері згоряння котла. Причому енергетична ефективність котла залежить від ступеня прогорання палива, яке, в свою чергу, пов'язане з процентним співвідношенням газу і кисню, що подається в камеру згоряння суміші.

Газові пальники для котлів повинні відповідати вимогам довговічності і простоти монтажу, також у роботі вони не повинні перевищувати встановлений рівень шуму, а при можливості різних видів палива - здатність швидко переходити з одного на інше. Також пристрій газового пальника для котла повинен забезпечувати мало токсичність димових газів (малий вміст оксиду азоту та монооксиду вуглецю (чадного газу)).



Рис. 4.13 Модуляційні пальники Unigas NG 400 MD EA

Газові модуляційні пальники з номінальною тепловою потужністю 420 кВт, що застосовуються разом із водогрійними та паровими котлами, сушильними камерами, печами та іншим технологічним обладнанням. Модуляційні пальники Unigas NG 400 MD EA за конструкцією аналогічні прогресивним, однак мають вбудований регулятор — модулятор типу RWF 40, за допомогою якого забезпечується плавна модуляція потужності від 115 до 420 кВт та електронний менеджер горіння.

Особливістю конструкції пальників цього типу є наявність окремих сервоприводів на повітря й газ, які керуються менеджером горіння, без варильного сектора з лекалом. У пам'ять менеджера горіння заноситься крива регулювання

співвідношення "повітря-газ". Модулятор RWF 40 так само встановлюється на панелі керування пальником.

Витрата газу в модуляційних пальниках Unigas NG 400 MD EA може становити від 12,2 до 44 м.куб. на годину, а максимальний тиск газу — 360 мбарів. Ці пальники комплектуються муфтовими газовими рамами від 1" до 2 залежно від тиску газу перед пальником. Рампи можуть виводиться як на ліву, так і на праву сторони. Електрична потужність пальників NG 400 MD EA становить 0,67 кВт, зокрема двигун вентилятора — 0,37 кВт. Електричне живлення — однофазне 230 В. Вага пальника — 47 кг.

Газовий модуляційний пальник із менеджером горіння Unigas NG 400 MD EA (потужністю 420 кВт) є високотехнологічним обладнанням, яке забезпечує ефективне та стабільне спалювання газу з можливістю автоматичного регулювання потужності залежно від потреб системи.

Основні принципи роботи:

1. Менеджер горіння:

Пальник оснащений електронним блоком управління (менеджером горіння), який контролює та регулює процес спалювання.

Система отримує дані від датчиків (температури, тиску, витрати повітря, рівня кисню в димових газах) і коригує роботу пальника в реальному часі.

2. Модуляція потужності:

Пальник працює в модуляційному режимі, тобто здатен змінювати потужність у діапазоні від мінімальної до максимальної (наприклад, від 30% до 100%).

Ця функція дозволяє оптимізувати споживання палива та зменшити теплові втрати.

3. Вентилятор і регулювання повітря:

Вентилятор забезпечує подачу необхідного об'єму повітря для повного спалювання газу.

Менеджер горіння регулює співвідношення газу та повітря, що дозволяє уникнути перевитрати палива або утворення токсичних речовин.

4. Електрозапалювання:

Процес розпалювання автоматизований завдяки системі електрозапалювання, яка генерує іскру для ініціації горіння.

5. Контроль безпеки:

У разі зниження тиску газу, недостатнього подавання повітря, чи загасання полум'я, система автоматично зупиняє роботу пальника.

Є система діагностики несправності із виведенням кодів помилок на дисплей менеджера.

6. Моніторинг викидів:

Для забезпечення екологічних стандартів пальник оснащений датчиками для контролю рівня оксидів азоту (NOx) і вуглекислого газу (CO₂).

Основні переваги:

Ефективність. Високий ККД завдяки точному дозуванню палива та повітря.

Економічність. Зниження витрат газу через оптимальну модуляцію.

Екологічність. Мінімальні викиди забруднюючих речовин.

Надійність. Захист від перевантажень і несправностей.

Такий пальник підходить для використання в котлах, теплогенераторах або інших теплотехнічних установках середнього та великого розміру, де потрібен високий рівень автоматизації й енергоефективності.

4.2.9. Контроль і керування за допомогою GSM-маршрутизатор (модуля)

GSM-маршрутизатор SQUID-1H для диспетчерського контролю та керування. Являє собою пристрій для реалізації різних систем бездротового збору даних та/або управління протоколом MODBUS RTU, з використанням технології передачі пакетних даних GPRS в стільникових мережах стандарту GSM. GSM-маршрутизатор SQUID-1H є активним модемом. Особливість у цьому, що може самостійно, без подачі зовнішніх команд, встановити GSM/GPRS з'єднання і

здійснити передачу даних. Таким чином, до маршрутизатора можна підключати обладнання, яке спочатку не розраховане на передачу даних за допомогою модему. Реалізований у GSM-маршрутизаторі SQUID-1H протокол TCP/IP дозволяє цим модемам передавати дані за технологією GPRS по мережах Інтернет.

1. Прийом та передача даних за допомогою GPRS:

- Постійно;
- на запит;
- Наявність даних.

2. Прийом та відправка SMS:

- за подією;
- Видалене управління модемом.

3. Архівування даних:

- Постійно;
- Зберігання архівів на карті пам'яті.

4. Можливість підключення модулів розширення:

- до 3 аналогових виходів;
- до 16 дискретних входів;



Рис. 4.14 GSM-маршрутизатор SQUID-1H

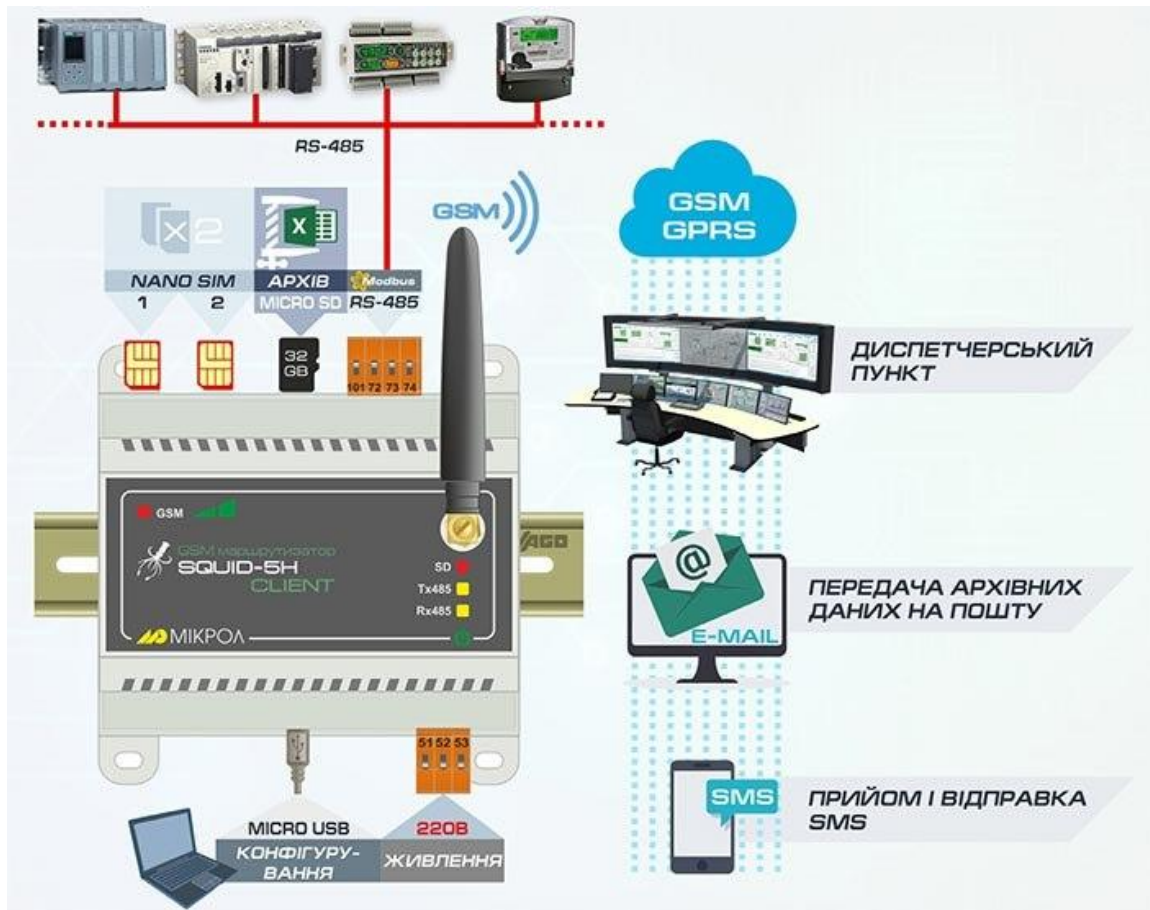


Рис. 4.15 GSM-маршрутизатор, варіанти використання

4.3. Опис додаткової елементної бази

Для керування циркуляційним насосом вибираємо контактор фірми Schneider Electric.



Рис. 4.16 Контактор TeSys E LC1E0910M5

LC1E0910M5 - це контактор з серії TeSys E від Schneider Electric, спеціально розроблений для надійного керування електродвигунами та іншими електричними навантаженнями. Цей контактор є ефективним та надійним рішенням для вашої системи керування. З напругою управління 24В DC та максимальним струмом 9А, LC1E0910M5 ідеально підходить для середніх електричних навантажень, де потрібен надійний та ефективний контроль. З трьома полюсами (3P), цей контактор може керувати різними типами електродвигунів та іншими пристроями з великою точністю та ефективністю. Контактор LC1E0910M5 легко монтується на DIN-рейку, що робить його зручним у використанні та установці. Він є частиною надійної та довговічної серії TeSys E, яка гарантує стабільну та безперебійну роботу вашої системи керування.

Автомат захисту 0-2.5А призначений для захисту двигуна штукатурної станції від короткого замикання або перегріву. Обладнаний регульованим тепловим розчіплювачем (що відповідає за захист від перевантаження) та фіксованим електромагнітним розчіплювачем (який відповідає за захист від короткого замикання).



Рис. 4.17 Автомат захисту Eaton Moeller

Табл. 4.7 Характеристики:

Довжина/глибина:	76 мм
Висота:	93 мм
Ширина:	45 мм
Категорія продукту:	Захисний вимикач двигуна

Тип приводу:	Кнопка повороту
Особливості:	Чутливість до обриву фази
Функції:	• Захист двигуна • Чутливий до обриву фази
Номінальна сила струму:	2,5 А
Ступінь збудження:	3
Ступінь захисту:	IP20
Крива відключення:	C
Робоча температура навколишнього середовища:	+75 °C ... -25 °C
Номінальна частота:	50/60 Гц
Категорія перенапруги:	III
Кількість полюсів:	Триполюсний
Номінальна напруга:	690 V
Вимикаючий струм:	60 кА

Двополюсний автоматичний вимикач — це захисний пристрій, який забезпечує одночасне вимкнення як фазного, так і нульового проводу в електричній мережі.



Рис. 4.18 Двополюсний автоматичний вимикач

Особливості двополюсного автоматичного вимикача:

1. Конструкція: Він має два полюси: один для підключення фазного проводу, інший — для нульового. Обидва полюси з'єднані механічно, тому вимкнення відбувається одночасно.
2. Призначення: Забезпечує повне знеструмлення пристрою або лінії при аварійних ситуаціях. Використовується в однофазних мережах 220 В для захисту приладів або ліній. Забезпечує підвищену безпеку, особливо у випадках, коли можлива проблема з нульовим проводом.
3. Переваги: Захист як по фазі, так і по нулю. Зручність в обслуговуванні та підключенні. Підходить для використання в схемах, де необхідно розривати обидва провідники.
4. Область застосування: Захист побутових та промислових електричних пристроїв. Установки, де потрібне повне роз'єднання фазного і нульового провідників (насоси, бойлери, обігрівачі тощо).

Для однофазного насоса 1,1 кВт (струм $\approx 6,6$ А) підійде двополюсний автомат 10 А, тип С.

Табл. 4.8 Характеристики двополюсний автоматичний вимикача:

Тип:	Автоматичний вимикач
Час спрацьовування:	2,5 мс
Номинальна напруга:	230V/400V
Кількість полюсів:	2P
Номинальний струм:	10 А
Призначення:	Автоматика
Механічна зносостійкість	10000 циклів
Тип монтажу	DIN рейку
Характеристика відключень	C
Серія	Easy9
Приєднання	кабельними наконечниками
Стандарт	EN 60898/IEC 60898

Щит автоматики.

Щит автоматики газового котла призначений для забезпечення надійної та безпечної роботи газового котла. Він виконує кілька важливих функцій:



Рис. 4.19 Щит автоматики

Основне призначення:

1. Електричний захист. Захищає котел та його автоматику від короткого замикання, перевантаження, перепадів напруги в мережі.
2. Безпека. Запобігає ураженню струмом завдяки встановленню УЗО (пристрою захисного відключення), забезпечує захист від струмів витоку.
3. Контроль і управління. Вмикання та вимикання котла, захист під час аварійних ситуацій, наприклад, у разі стрибків напруги або виходу обладнання з ладу.
4. Стабілізація напруги (за наявності стабілізатора). Захищає чутливу електроніку котла від пошкодження через перепади напруги.
5. Моніторинг стану мережі (за наявності індикаторів або реле напруги).
Дозволяє користувачу бачити параметри електричної мережі (напруга, струм

тощо).

6. Зручність підключення. Щит включає розетки або клеми для підключення котла, циркуляційного насоса та інших компонентів.

Де використовується. У системах з газовими котлами для обігріву приватних будинків, квартир, офісів. У місцях, де важливий стабільний і безпечний режим роботи опалювального обладнання.

Чому це важливо.

Газові котли мають чутливу автоматику, яка може вийти з ладу через різкі перепади напруги, несправності у проводці. аварійні ситуації в мережі.

Щит автоматики забезпечує стабільну роботу системи, підвищуючи безпеку і продовжуючи термін служби обладнання.

РОЗДІЛ 5. АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Проведемо опис алгоритму роботи системи керування. Алгоритм наведено на рис. 5.1. На початку подаємо живлення на контролер та на інше обладнання. Вмикаються всі виконавчі механізми, в нашому випадку це двигуни циркуляційного насосу. МІК-51 подає сигнал на всі датчики контролю. Якщо показники датчиків відповідають тим параметрам, що закладені в контролері, МІК-51 посиляє сигнал на включення пальника. Пальник входить в робочий режим. Система отримує дані від датчиків (температури, тиску, витрати повітря, рівня кисню в димових газах) і коригує роботу пальника в реальному часі. Якщо з датчиків відрізняються від тих, що заведені в МІК-51, спрацьовує «АВАРІЯ». Сигнал подається на електромагнітний газовий клапан, який в свою чергу перекриває подачу газу на пальник. Паралельно GSM модуль подає сповіщення на диспетчерський пульт з кодом аварії.

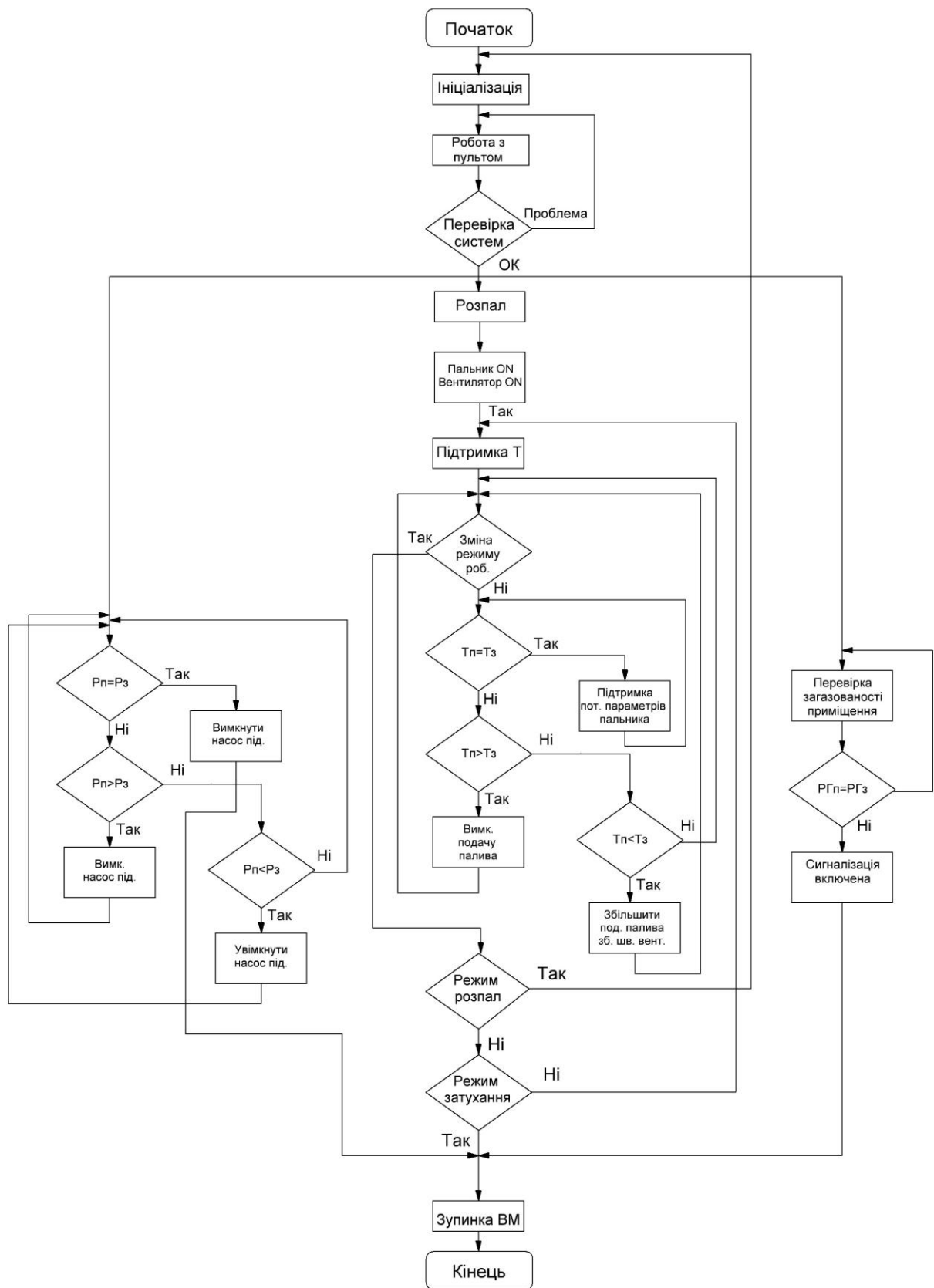


Рис. 5.1. Загальний алгоритм роботи системи

ВИСНОВКИ

В даній роботі представлений проект автоматизації роботи дахової газової котельні на базі жаротрубного двоходового котла Aton SAB-0,4 . Проведено опис конструкції і принцип роботи. Обрано елементи контролю і керування. Розроблено нову систему автоматизації на базі програмованого логічного контролера МІК-51 «МІКРОЛ». Також розроблено алгоритмічну схему, електричну принципову схему системи. Автоматизоване регулювання дахової газової котельні забезпечує ефективну, безпечну та економічну роботу системи. Воно включає комплекс пристроїв і технологій, що дозволяють контролювати, оптимізувати та автоматично підтримувати роботу обладнання без постійного втручання оператора.

ПЕРЕЛІК ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горбатюк М. І., Тихомирова Л. А. *Автоматизація теплотехнічних процесів.* – Київ: Либідь, 2017.
2. Книш С. І., Лесной І. А. *Теплотехніка та автоматизація теплових процесів.* – Харків: Основа, 2015.
3. Кузьмін О. Є., Тарасов І. М. *Енергоефективність і автоматизація теплових систем.* – Львів: Новий Світ-2000, 2020.
4. Кондратенко О. П., Довгаль Р. М. *Автоматизація технологічних процесів і систем.* – Київ: КНУТД, 2019.
5. Іванов В.П., Сидоров М.О. *Системи теплопостачання: підручник.* – Київ: Видавничий дім «Кондор», 2018.
6. Коваленко Ю.М., Степаненко В.О. *Газові котли та їх експлуатація.* – Харків: ХНУГХ, 2020.
7. Петренко О.В. *Сучасні підходи до проєктування дахових газових котелень.* – Науковий журнал "Теплоенергетика", №3, 2022.
8. Шевченко П.М. *Енергоефективність автономних систем опалення на основі газових котлів.* – "Енергетика і сталий розвиток", 2021.