

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 керування паро-котельною установкою»

Виконав студент 2 курсу, групи АТ-29м
спеціальності 174 “ Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка”



Дорошенко Павло Олександрович

(прізвище та ініціали студента)



Керівник: к.т.н., доц. Янчук В.М.

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



Рецензент: к.т.н., доц., Чепюк Л.О.

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

Житомир – 2025

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.
« 17 » жовтня 2025р.

ЗАВДАННЯ

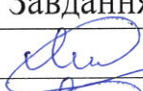
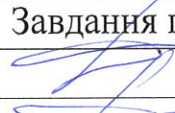
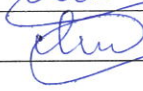
на кваліфікаційну роботу магістра

Студент Дорошенко Павло Олександрович

1. Тема роботи: Автоматизована система керування паро-котельною установкою
2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «1» грудня 2025 р.
3. Вихідні дані до роботи: матеріали звіту про переддипломну практику, технологічна схема та конструктивні характеристики парокотельної установки, робочі параметри й допустимі межі тиску пари, температури та рівня води в котлі, вимоги до регулювання подачі палива, повітря й живильної води, первинні перетворювачі та виконавчі механізми, програмований логічний контролер, вимоги до інтерфейсу оператора, сигналізації та аварійного захисту
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці):
технічне завдання, аналіз технологічних процесів, конструкції та принципу роботи парового котла, постановка задачі автоматизованого керування, розробка функціональної та структурної схем системи, вибір первинних перетворювачів, виконавчих механізмів і компонентів системи, розробка електричної принципової схеми, алгоритму роботи та програмного забезпечення ПЛК, створення інтерфейсу оператора, реалізація сигналізації й аварійного захисту
5. Перелік презентативного матеріалу (з точним визначенням обов’язкових слайдів/креслень): технологічна схема парокотельної установки, функціональна

схема автоматизації, структурна схема системи керування, електрична принципова схема, блок-схема алгоритму роботи системи та аварійного захисту, фрагменти програми ПЛК, екранні форми інтерфейсу оператора

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

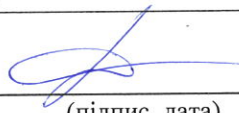
Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1, 2, 3	Янчук В.М.		
4,5	Янчук В.М.		

7. Дата видачі завдання 22.09.2025

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підготувати звіт про переддипломну практику	1 тиждень	виконано
2.	Збір та аналіз джерел за темою роботи, огляд існуючих систем	1 тиждень	виконано
3.	Вибір і обґрунтування технічних та програмних засобів	2 тиждів	виконано
4.	Розробка структурної, функціональної та блок-схеми	3 тиждів	виконано
5.	Аналіз отриманих результатів	4 тиждів	виконано
6.	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	4 тиждів	виконано

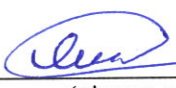
Студент


(підпис, дата)

П.О. Дорошенко

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис, дата)

В.М. Янчук

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ	6
1.1. Аналіз технологічних процесів, що підлягають автоматичному регулюванню	11
1.2. Конструктивна будова та принцип функціонування парового котла.....	14 16
1.3. Формулювання та постановка задачі автоматизованого керування	19
2. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	19
2.1. Обґрунтування автоматизації.....	23
2.2. Розроблення функціональної схеми автоматизованої системи керування	26 42
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ	44
3.1. Вибір первинних перетворювачів та виконавчих механізмів	44
3.2. Розроблення структурної схеми автоматизованої системи керування.....	65 67
4. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	67
4.1. Вибір компонентів системи.....	69
4.2. Розробка електричної принципової схеми системи керування	75
5. АЛГОРИТМ ТА ПРОГРАМА.....	80
5.1. Алгоритм роботи системи	92
5.2. Розробка програмного забезпечення ПЛК.....	94
5.3. Інтерфейс.....	
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	

ВСТУП

Сучасні темпи промислового розвитку та урбанізації зумовлюють постійне зростання потреб у тепловій енергії, що робить питання ефективного та надійного теплопостачання надзвичайно актуальним. Важливу роль у задоволенні цих потреб відіграють централізовані та децентралізовані системи теплопостачання, основними елементами яких є теплові електростанції та котельні установки різної потужності.

Поряд із великими теплоелектроцентралями та атомними станціями теплопостачання, значну частку в загальному балансі теплової енергії займають промислові та опалювальні котельні, призначені для забезпечення теплом житлових, адміністративних і виробничих об'єктів. Особливе місце серед них посідають парокотельні установки середньої та малої потужності, які характеризуються гнучкістю в експлуатації, можливістю локального розміщення та швидкою адаптацією до змін теплового навантаження.

Зі зростанням вимог до енергоефективності, економічності та екологічної безпеки теплогенеруючого обладнання постійно вдосконалюються конструкції котлоагрегатів, зменшується їхня матеріалоемність, підвищується надійність і коефіцієнт корисної дії. Значний внесок у досягнення цих показників забезпечує впровадження сучасних засобів автоматизації, які дозволяють оптимізувати процеси згоряння палива, стабілізувати теплотехнічні параметри та підвищити рівень безпеки експлуатації котельних установок.

Найбільш економічно та екологічно доцільним видом палива для парових котлів є природний газ, який характеризується високою теплотворною здатністю та мінімальним рівнем шкідливих викидів. Парокотельні установки на природному газі широко застосовуються в системах теплопостачання житлових будинків, промислових підприємств, об'єктів соціальної інфраструктури та сільськогосподарських комплексів. Водночас ефективна робота таких установок у сучасних умовах

неможлива без мінімізації впливу людського фактора та переходу до автоматизованих і інтелектуальних систем керування.

У зв'язку з цим розробка та впровадження автоматизованих систем керування парокотельними установками є актуальним науково-технічним завданням, спрямованим на підвищення енергоефективності, надійності та безпеки процесів теплогенерації.

Об'єктом дослідження є процеси керування роботою парокотельної установки.

Предметом дослідження є автоматизована система керування парокотельною установкою.

1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1. Аналіз технологічних процесів, що підлягають автоматичному регулюванню

Паро-котельна установка є складним теплотехнічним об'єктом, у якому реалізується сукупність взаємопов'язаних фізико-хімічних, теплових та гідродинамічних процесів. Основною метою її функціонування є отримання пари заданих параметрів за умов мінімальних витрат палива, дотримання екологічних норм та забезпечення безпечної експлуатації обладнання. Досягнення цієї мети в умовах змінних теплових навантажень, коливань якості палива та зовнішніх збурень практично неможливе без застосування автоматизованих систем керування, здатних забезпечити стабілізацію основних технологічних параметрів.

Центральним процесом у паро-котельній установці є процес горіння палива в топці з утворенням топкових газів, які передають теплову енергію теплоносію через поверхні нагріву. У промисловій практиці топкові гази широко використовуються як джерело тепла не лише в котлах, а й у технологічних процесах сушіння, випаровування та випалювання, що зумовлює підвищені вимоги до стабільності їх температури та складу. Температура і теплова потужність топкових газів визначаються витратами палива і повітря, а також режимом роботи пальникових пристроїв, що робить процес горіння одним із ключових об'єктів автоматичного регулювання.

Зі зміною температури або іншого контрольованого параметра технологічного процесу, у якому використовуються топкові гази, виникає необхідність відповідної зміни витрати палива. При цьому співвідношення між витратами палива та повітря повинно підтримуватися на оптимальному рівні для забезпечення повного згоряння і мінімізації теплових втрат. У багатьох пальникових пристроях це досягається за рахунок зміни інжекційної здатності пальника при зміні витрати палива. Типова схема автоматичного регулювання процесу горіння в топках наведена на рисунку 1.1.

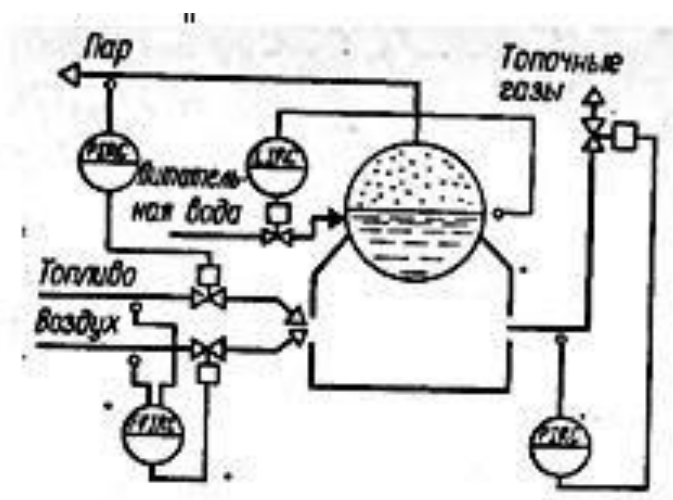


Рис. 1.1. Схема регулювання топкоу

Регулювання температури топкових газів безпосередньо після топки часто здійснюється шляхом зміни витрати вторинного повітря. У разі використання пальників із подачею первинного повітря виникає необхідність у додатковому регулюванні співвідношення «паливо – первинне повітря», що реалізується спеціалізованими регуляторами. В окремих технологічних схемах розбавлене повітря може подаватися одночасно в охолоджуючу сорочку топки та в змішувальну камеру, що дозволяє більш гнучко керувати температурним режимом. При цьому витрата вторинного повітря змінюється залежно від температури всередині топки або поблизу футеровки, а витрата третинного повітря – від температури після змішувальної камери.

У паро-котельних установках, призначених для отримання пари заданих параметрів, основною регульованою величиною є тиск пари. Для насиченої пари між тиском і температурою існує однозначна залежність, тому стабілізація тиску автоматично забезпечує сталість температурного режиму. Зміна тиску пари є інтегральним показником балансу між тепловою потужністю, що розвивається в топці, та витратою пари споживачами. У зв'язку з цим регулятор тиску пари зазвичай формує керуючий вплив одночасно на подачу палива і повітря, забезпечуючи узгоджену зміну тепловиділення.

Важливим показником економічності процесу горіння є коефіцієнт надлишку повітря, який визначається як відношення фактичної витрати повітря до теоретично необхідної для повного згорання палива. За умови сталої

теплотворної здатності палива підтримання заданого значення цього коефіцієнта може здійснюватися простими регуляторами співвідношення витрат. Проте в реальних умовах експлуатації якість палива може змінюватися, що вимагає застосування більш складних систем автоматичного регулювання, здатних безперервно визначати оптимальний режим горіння за вмістом кисню в топкових газах.

Додатковим джерелом збурень у паро-котельній установці є зміна тиску в топці, яка виникає внаслідок коливань витрат палива та повітря. Такі збурення можуть негативно впливати на стабільність горіння та безпеку експлуатації, тому для їх компенсації застосовуються регулятори тиску в топці, що керують роботою димососів або повітродувних агрегатів. Підтримання водного балансу установки забезпечується автоматичним регулюванням рівня води в барабані котла, при цьому регулюючий вплив реалізується зміною витрати живильної води.

Для узагальнення підходів до автоматизації складних теплотехнічних об'єктів доцільно розглянути типові рішення, застосовувані в установках штучного охолодження, принципова схема автоматизації яких наведена на рисунку 1.2. Хоча такі установки мають інше функціональне призначення, вони характеризуються аналогічною структурою керування, наявністю кількох контурів регулювання та значною кількістю зовнішніх впливів.

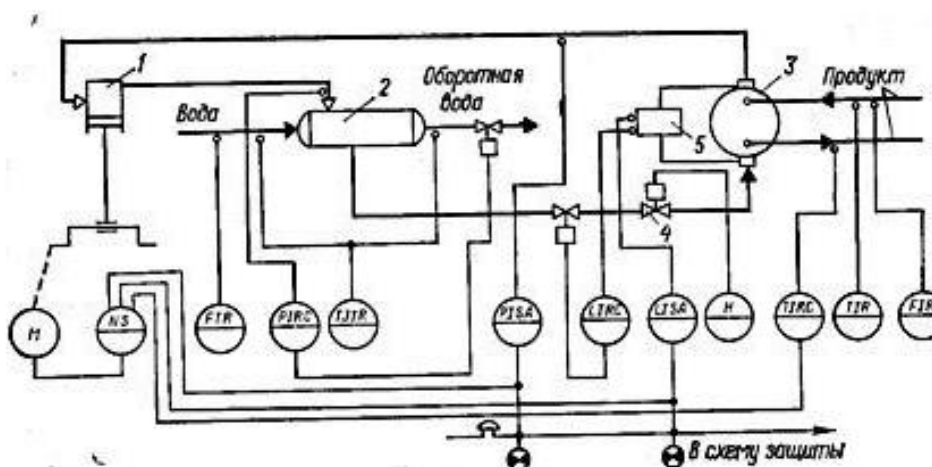


Рис. 1.2. Типова схема автоматизації процесу штучного охолодження:

- 1 - компресор; 2 - конденсатор; 3 - випарник; 4 - елемент дроселювання; 5 - виносна камера.

У системах штучного охолодження основною керованою величиною є кінцева температура продукту, яка підтримується шляхом зміни витрати холодоагенту та режимів роботи компресора. Зовнішні збурення надходять у систему через зміну параметрів продукту або охолоджуючої води, що подається в конденсатор. Для компенсації цих збурень застосовуються регулятори температури, тиску конденсації та рівня холодоагенту у випарнику. Крім того, для забезпечення безаварійної роботи передбачаються системи сигналізації та захисту, які реагують на перевищення гранично допустимих значень рівня або тиску.

Зазначені приклади підтверджують, що ефективна автоматизація складних теплотехнічних систем базується на комплексному підході, який передбачає стабілізацію основних технологічних параметрів, компенсацію збурювальних впливів і реалізацію багаторівневих систем захисту. У повній мірі це стосується і паро-котельних установок, для яких автоматизоване керування є необхідною умовою забезпечення економічності, надійності та безпеки роботи.

Аналіз технологічних процесів паро-котельної установки показує, що до об'єктів автоматичного регулювання належать процеси горіння палива, підтримання тиску і температури пари, регулювання співвідношення витрат палива і повітря, стабілізація тиску в топці та підтримання водного балансу. Сукупність цих процесів визначає вимоги до структури та функціональних можливостей автоматизованої системи керування, розробці якої присвячені наступні розділи роботи.

1.2 Конструктивна будова та принцип функціонування парового котла

Парові котли є основними елементами паро-котельних установок і призначені для перетворення хімічної енергії палива в теплову енергію пари заданих параметрів. Конструктивні особливості котла, організація циркуляції теплоносія та умови теплообміну безпосередньо визначають його енергетичну

ефективність, надійність і можливість автоматизованого керування. У даній роботі як об'єкт дослідження розглядається паровий котел типу Е-1-0,9Г, який широко застосовується в промислових та опалювальних котельнях.

Парові котли водотрубні серії Е призначені для вироблення насиченої пари робочим тиском до 0,8 МПа та температурою насичення близько 175 °С, що відповідає вимогам більшості технологічних і опалювальних споживачів. Котли цієї серії характеризуються відносно простою конструкцією, компактністю, високим коефіцієнтом корисної дії та можливістю ефективної автоматизації основних процесів.

Котел Е-1-0,9Г належить до вертикально-водотрубних двобарабанных котлів з природною циркуляцією і розрахований на роботу на природному газі. Його конструкція передбачає розміщення верхнього та нижнього барабанів в одній вертикальній площині, з'єднаних між собою системою водяних труб, які утворюють основну поверхню нагріву. Принципова схема котла наведена на рисунку 1.3 .

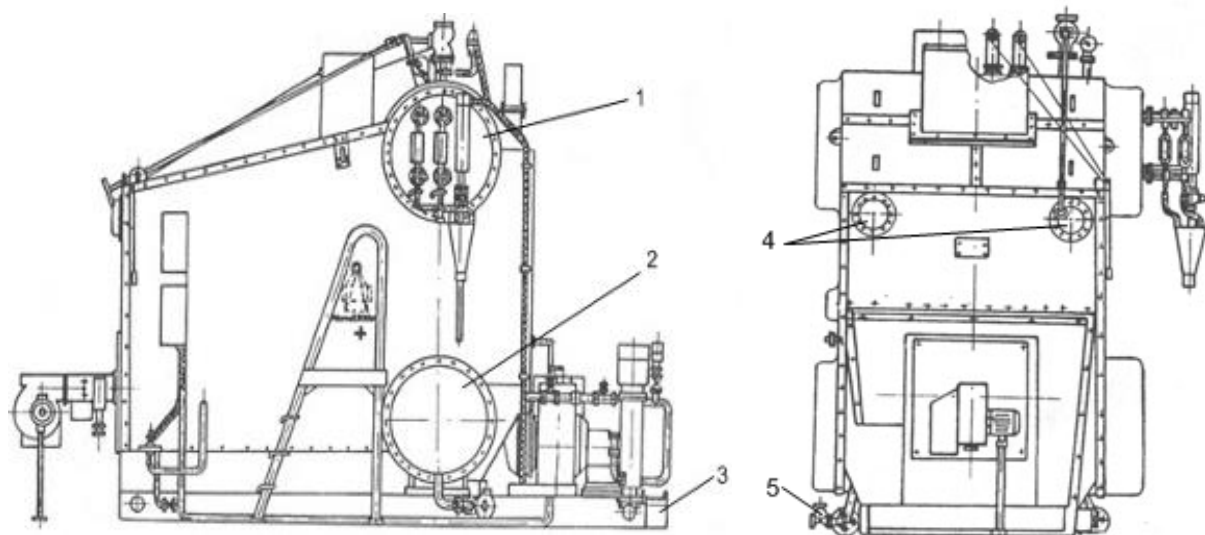


Рис. 1.3 Схема парового котла Е-1-0,9Г: 1-верхній барабан; 2-нижній барабан; 3-опорна рама; 4-верхній колектор; 5-продувні патрубки.

Верхній барабан призначений для накопичення пароводяної суміші та відокремлення насиченої пари від води, тоді як нижній барабан виконує функцію збірника води й забезпечує замкнений циркуляційний контур. Циркуляція теплоносія відбувається природним шляхом за рахунок різниці

густини холодної води та пароводяної суміші, що утворюється в трубах поверхонь нагріву. Принцип циркуляції підвищує надійність роботи котла та зменшує вимоги до допоміжного обладнання.

Трубна система котла виконана газощільною та має коридорне розташування труб, що забезпечує поперечне омивання їх продуктами згоряння. Бічні та стельові екрани топки утворюють радіаційні поверхні нагріву і включені в загальний циркуляційний контур за допомогою колекторів. Особливістю циркуляційної схеми котлів серії Е є відсутність неопалюваних живильних і відвідних труб, що позитивно впливає на тепловий баланс і зменшує нерівномірність нагріву металу. Екранні поверхні виконані з труб діаметром 51 мм, що забезпечує достатню механічну міцність і ефективний теплообмін.

Конструкція топки та газоходів визначається тепловою потужністю котла і видом використовуваного палива. У котлі Е-1-0,9Г реалізована газова топка, розрахована на роботу як при розрідженні, так і під надлишковою тягою. При спалюванні природного газу в топці утворюються димові гази високої температури, які, рухаючись по газоходах, омивають поверхні нагріву та віддають частину теплової енергії воді, що циркулює всередині труб. У результаті вода нагрівається, частково випаровується і у вигляді пароводяної суміші надходить у верхній барабан, де відбувається розділення фаз і відбір насиченої пари.

Відпрацьовані димові гази після проходження поверхонь нагріву відводяться через димоходи і димову трубу в атмосферу за допомогою димососа або парового інжектора. Для мінімізації теплових втрат зовнішні поверхні котла оснащені теплоізоляцією з волокнистих матеріалів, яка щільно прилягає до металевих поверхонь і закрита декоративною обшивкою з тонколистової сталі.

Система живлення котла водою включає живильний насос і установку водопідготовки, склад та технологічна схема якої визначаються хімічним складом вихідної води. Якісна водопідготовка є необхідною умовою

довговічної роботи котла, оскільки запобігає утворенню накипу, корозії та порушенню тепловіддачі. Підтримання заданого рівня води в барабані котла є одним із найважливіших завдань автоматизованої системи керування.

Залежно від типу палива, котли серії Е оснащуються газовими, рідкопаливними або комбінованими пальниками, що забезпечуються автоматизованими системами запалювання, контролю за горінням та регулювання теплової потужності. У разі використання твердого палива передбачено застосування спеціалізованої вугільної топки відповідної конструкції. Проте, у даному дослідженні ключову увагу приділено варіанту, який передбачає експлуатацію на газовому паливі.

Основні технічні характеристики парового котла Е-1-0,9Г наведені в таблиці 1.1 .

Таблиця 1.1

Технічні характеристики парового котла Е-1-0,9Г

Параметр	Значення
Номінальна продуктивність, т/год	1,0
Робочий тиск пари, МПа	0,8
Вологість насиченої пари, %	3
Температура насиченої пари, °С	174,5
Вид палива	Природний газ
Нижча теплота згоряння палива, МДж/кг (ккал/кг)	35,59 (8500)
Витрата газу, м³/год	86 / 82
Об'єм топкового простору, м³	2,2
Діаметр труб, мм	51 × 3
ККД котла, %, не менше	90
Встановлена електрична потужність, кВт	6,0
Температура живильної води, °С	50
Температура відхідних газів, °С	250
Поверхня нагріву, м²	30,6
Водяний об'єм котла, м³	1,1
Маса котла, т	4,5
Габаритні розміри (Д×Ш×В), мм	4200 × 2350 × 2600

Зв'язок між конструктивним виконанням головних вузлів котла та потребою контролю їхніх робочих параметрів у системі автоматизації деталізовано у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Основні конструктивні елементи котла та параметри, що підлягають контролю

Конструктивний елемент	Функціональне призначення	Основні контрольовані параметри
Топка	Спалювання палива	Температура, тиск, склад димових газів
Поверхні нагріву	Передача тепла воді	Температура металу, тепловий потік
Верхній барабан	Відділення пари від води	Тиск пари, рівень води
Нижній барабан	Акумуляція води	Рівень води
Живильна система	Подача води	Витрата, температура води
Газовий тракт	Відвід димових газів	Температура, розрідження

Система керування котлом Е-1-0,9Г може виконуватися як з позиційним, так і з плавним регулюванням теплової потужності залежно від типу пальникового пристрою та вимог до режимів роботи. Автоматизована система керування забезпечує програмний пуск пальника з попереднім провітрюванням топки і газового тракту, стабілізацію тиску пари, підтримання рівня води в барабані, контроль параметрів горіння, а також реалізацію функцій сигналізації та захисту. Управління може здійснюватися як з місцевого пульта оператора, так і дистанційно з диспетчерського пункту.

Конструктивні особливості та принцип роботи парового котла Е-1-0,9Г створюють сприятливі умови для інтеграції ефективної автоматизованої системи управління. Така система здатна забезпечити стабільне підтримання технологічних параметрів, високу енергоефективність та безпечну експлуатацію котельного обладнання.

1.3 Формулювання та постановка задачі автоматизованого керування

Аналіз конструктивних особливостей парового котла Е-1-0,9Г та технологічних процесів, що відбуваються в паро-котельній установці, свідчить про складний багатофакторний характер об'єкта керування і високі вимоги до

надійності та безпеки його експлуатації. Існуючі системи керування котельними установками, що базуються на застарілих технічних рішеннях або обмежених автоматизації окремих контурів, мають низку суттєвих недоліків, серед яких слід відзначити значну залежність від людського фактора, недостатню точність підтримання технологічних параметрів, обмежені можливості діагностики аварійних режимів та низький рівень інтеграції функцій захисту й керування.

У процесі експлуатації таких систем ускладнюється забезпечення стабільного тиску пари, підтримання допустимого рівня води в барабані котла та оптимального режиму горіння палива. Крім того, недостатня швидкодія та обмежена функціональність захисних пристроїв підвищують ризик виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних із перевищенням допустимого тиску пари, зниженням рівня води нижче аварійного значення, припиненням подачі повітря або згасанням полум'я пальника. Зазначені фактори обґрунтовують необхідність модернізації існуючої системи керування шляхом впровадження автоматизованої системи керування технологічним процесом паро-котельної установки.

Розробка автоматизованої системи управління паро-котельною установкою на основі котла Е-1-0,9Г спрямована на стабілізацію ключових технологічних параметрів у заданих межах, підвищення рівня безпеки під час експлуатації та мінімізацію впливу людського фактора. Реалізація поставленої мети включає автоматизацію процесів підтримання тиску насиченої пари, регулювання рівня води в котлі, скоординоване управління подачею палива та повітря, а також створення комплексної системи технологічного захисту.

Об'єктом автоматизованого керування є паро-котельна установка, що включає паровий котел, топковий пристрій, газовий та водяний тракти, а також допоміжне обладнання системи живлення та відведення продуктів згорання. Керованими величинами в системі є тиск пари в котлі, рівень води в барабані, температура в топці та котлі, тиск у топці, а також витрати палива, повітря та живильної води. Основними збурювальними впливами виступають зміна теплового навантаження споживачів пари, коливання параметрів живильної

води, зміна складу або теплоти згоряння палива та впливи з боку навколишнього середовища.

Проектована система керування повинна забезпечувати автоматичну подачу природного газу та повітря в топку котла з дотриманням оптимального співвідношення «паливо – повітря», що гарантує повне та економічне згоряння палива. Регулювання подачі повітря має здійснюватися узгоджено зі зміною витрати палива, що дозволяє стабілізувати температуру та склад топкових газів. подача живильної води з резервуару в котел також має здійснюватися в автоматичному режимі на основі сигналів від датчиків рівня, забезпечуючи підтримання водного балансу та запобігаючи роботі котла в небезпечних режимах.

Для забезпечення повноцінного контролю технологічного процесу система повинна здійснювати безперервне вимірювання рівня води в резервуарі та барабані котла, температури в топці і котлі, тиску пари та тиску в топці. На основі інформації, що надходить від вимірювальних перетворювачів, система керування формує відповідні керуючі дії на виконавчі механізми. Зокрема, при досягненні заданої температури або тиску пари здійснюється відкриття клапана подачі пари до споживача, а при перевищенні допустимого тиску в топці спрацьовує запобіжний клапан, призначений для відведення продуктів згоряння.

Особливу увагу в системі керування приділено реалізації функцій технологічного захисту. У разі підвищення тиску пари вище допустимого значення система повинна забезпечити аварійне обмеження або припинення подачі палива. При зниженні рівня води нижче аварійного рівня має відбуватися автоматичне відключення пальника з одночасною подачею сигналу тривоги оператору. Аналогічні захисні дії передбачаються у випадку припинення подачі повітря, згасання полум'я пальника або виникнення інших аварійних режимів, що можуть загрожувати цілісності обладнання та безпеці обслуговчого персоналу.

Розробка нової автоматизованої системи керування передбачає розширення її функціональних можливостей порівняно з існуючими рішеннями, зокрема

шляхом інтеграції контурів регулювання, контролю, сигналізації та захисту в єдину структуру. Це дозволить підвищити надійність роботи паро-котельної установки, скоротити час реагування на збурення та аварійні ситуації, а також забезпечити більш економічне використання палива й енергоресурсів.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачається проведення комплексного дослідження технологічного процесу паро-котельної установки як об'єкта автоматизації, обґрунтування вибору контрольованих і регульованих параметрів та формування на цій основі структури автоматизованої системи керування технологічним процесом. Подальші етапи роботи включають аналіз принципів функціонування автоматизованої системи та розробку її функціональної схеми, вибір датчиків і виконавчих механізмів для реалізації контурів контролю й регулювання, а також розробку структурної та електричної принципової схем системи керування.

Завершальним етапом є розробка алгоритму роботи та програмного забезпечення системи керування, що забезпечує реалізацію заданих режимів роботи котла, обробку сигналів від вимірювальних перетворювачів, формування керуючих впливів та виконання функцій захисту і сигналізації. Реалізація зазначених завдань створює підґрунтя для побудови сучасної автоматизованої системи керування паро-котельною установкою, здатної забезпечити ефективну, економічну та безпечну експлуатацію котла Е-1-0,9Г у широкому діапазоні робочих режимів.

2. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

2.1. Обґрунтування автоматизації

Паро-котельна установка як складний теплоенергетичний об'єкт характеризується наявністю взаємопов'язаних технологічних процесів, стабільність та безпечність яких визначаються точністю підтримання ряду основних параметрів. До таких параметрів належать тиск пари в барабані котла, рівень води, температура в топці, співвідношення подачі палива та повітря, розрідження в топковому просторі, а також якість котельної води. В умовах змінного теплового навантаження та дії численних дестабілізуючих факторів забезпечення необхідних режимів роботи котла є неможливим без застосування автоматизованих систем керування.

Одним із найважливіших завдань автоматизації паро-котельної установки є регулювання живлення котла та підтримання тиску пари, що зводиться до забезпечення балансу між відбором пари споживачами та подачею живильної води. Параметром, який найбільш повно характеризує цей баланс, є рівень води в барабані котла. Надійність і довговічність роботи котельного агрегату в переважній більшості випадків визначається якістю регулювання рівня води, оскільки навіть незначні відхилення можуть призвести до серйозних порушень технологічного процесу.

Зниження рівня води нижче допустимих меж, особливо в умовах підвищеного тиску пари, може спричинити порушення циркуляції в екранних трубах котла. У результаті цього відбувається локальне підвищення температури стінок труб обігріву, що призводить до їх перегріву, втрати міцності та, в крайньому випадку, до аварійного руйнування. У той же час підвищення рівня води вище допустимого є не менш небезпечним, оскільки

можливий викид води разом із парою в пароперегрівач, що може вивести його з ладу та призвести до зниження якості пари. У зв'язку з цим до точності підтримання заданого рівня води в барабані котла пред'являються надзвичайно високі вимоги, реалізація яких можлива лише за допомогою автоматизованих систем регулювання.

Якість регулювання живлення котла також визначається характером подачі живильної води. Необхідно забезпечити рівномірне та безперервне живлення котла, оскільки часті та значні коливання витрати живильної води призводять до виникнення суттєвих температурних напружень у металі економайзера та інших елементів водяного тракту. Такі напруження знижують ресурс обладнання та підвищують імовірність пошкоджень, що ще раз підкреслює доцільність автоматичного керування процесом живлення.

Барабани котлів із природною циркуляцією характеризуються значною акумулюючою здатністю, яка особливо проявляється в перехідних режимах роботи. Якщо в усталеному режимі положення рівня води визначається станом балансу між подачею води та відбором пари, то в перехідних режимах на рівень води впливає значна кількість зовнішніх факторів. До основних із них належать зміна витрати живильної води, зміна паропродуктивності котла при коливанні навантаження споживачів, зміна інтенсивності горіння в топці, а також зміна температури живильної води. В умовах дії таких збурень ручне або напівавтоматичне керування не здатне забезпечити необхідну точність і швидкодію, що обґрунтовує необхідність впровадження автоматизованих контурів регулювання.

Не менш важливим об'єктом автоматизації є процес регулювання співвідношення подачі газу та повітря, що має як фізичне, так і економічне та екологічне значення. Процес горіння палива є одним із ключових у котельній установці, оскільки саме в ньому відбувається перетворення хімічної енергії палива в теплову. Хімічна сторона горіння полягає в реакції окислення горючих компонентів природного газу киснем, що міститься в атмосферному повітрі, яке подається в топку.

Для забезпечення повного та стабільного згоряння палива повітря має подаватися в топку в строго визначеному співвідношенні з газом. При нестачі повітря відбувається неповне згоряння палива, що призводить до втрат теплової енергії та викидів незгорілого газу в атмосферу. Такий режим є економічно неефективним і екологічно неприпустимим. У свою чергу, надлишок повітря хоча й забезпечує повне згоряння газу, проте призводить до охолодження топки, зниження коефіцієнта корисної дії котла та утворення оксидів азоту, які є шкідливими для людини й навколишнього середовища. Тому автоматичне регулювання співвідношення «газ – повітря» є необхідною умовою ефективної та екологічно безпечної роботи паро-котельної установки.

Важливим параметром, що підлягає автоматичному регулюванню, є розрідження в топці котла. Система автоматичного регулювання розрідження призначена для підтримання сталого тиску в топковому просторі, що забезпечує правильний напрямок руху димових газів і стабільність процесу горіння. За відсутності необхідного розрідження полум'я пальників притискається до їхніх елементів і стінок топки, що може призвести до обгорання пальників та пошкодження нижньої частини топкової камери. Крім того, у такому випадку димові гази можуть потрапляти в приміщення котельного цеху, що створює небезпечні умови праці для обслуговуючого персоналу. Автоматизація процесу регулювання розрідження дозволяє запобігти таким негативним явищам і забезпечити безпечну експлуатацію обладнання.

Окремої уваги потребує питання якості котельної води. У живильній воді завжди містяться розчинені солі, допустима концентрація яких регламентується нормативними документами. У процесі пароутворення солі залишаються в котельній воді та поступово накопичуються. Частина з них утворює шлам, який осідає в нижніх частинах барабана та колекторах. Підвищення концентрації солей вище допустимих значень може призвести до їх потрапляння в пароперегрівач і погіршення якості пари. Для запобігання цьому застосовується безперервна продувка котла, величина якої визначається балансом домішок у

воді. Хоча в даній установці продувка не регулюється автоматично, її правильний вибір та контроль тісно пов'язані з режимами роботи системи живлення і, відповідно, з автоматизованим керуванням основними параметрами котла.

Важливою складовою автоматизованої системи керування є система сигналізації та захисту, що діє на зупинку або обмеження роботи котла. Фізична необхідність таких систем зумовлена тим, що оператор або машиніст котла не здатний одночасно контролювати всі параметри функціонуючої установки та оперативно реагувати на їхні небезпечні відхилення. Наприклад, при швидкому зниженні рівня води в барабані може бути порушена циркуляція та викликаний перегрів труб нижніх екранів, що потребує негайного втручання. Миттєве спрацювання автоматичного захисту в таких випадках дозволяє запобігти виходу парогенератора з ладу.

При зменшенні навантаження котла інтенсивність горіння в топці знижується, що може призвести до нестійкого горіння або повного згасання полум'я. У зв'язку з цим обов'язковим є впровадження захисту по згасанню смолоскипа, який забезпечує негайне припинення подачі газу. Надійність системи захисту значною мірою визначається схемою її побудови та надійністю застосованих датчиків і виконавчих пристроїв. За характером дії захисти можуть здійснювати повну зупинку парогенератора, зниження його навантаження або виконання локальних технологічних операцій.

Автоматизація основних технологічних параметрів паро-котельної установки є об'єктивною необхідністю, зумовленою складністю процесів, високими вимогами до безпеки, економічності та екологічності, а також потребою у зменшенні впливу людського фактора. Реалізація автоматизованої системи керування дозволяє забезпечити стабільну роботу котла в широкому діапазоні режимів, підвищити надійність обладнання та створити передумови для подальшого впровадження інтелектуальних методів керування.

2.2 Розроблення функціональної схеми автоматизованої системи керування

Розроблення функціональної схеми автоматизованої системи керування паро-котельною установкою здійснюється відповідно до чинних стандартів систем автоматизації та умовно-графічних позначень засобів контролю і керування. Функціональна схема відображає взаємозв'язки між основними технологічними параметрами, первинними перетворювачами, виконавчими механізмами та логікою їхньої взаємодії з метою забезпечення стабільної, безпечної та економічно ефективної роботи котельного агрегату. Функціональна схема автоматизованої системи керування паро-котельною установкою наведена на рис. 2.1.

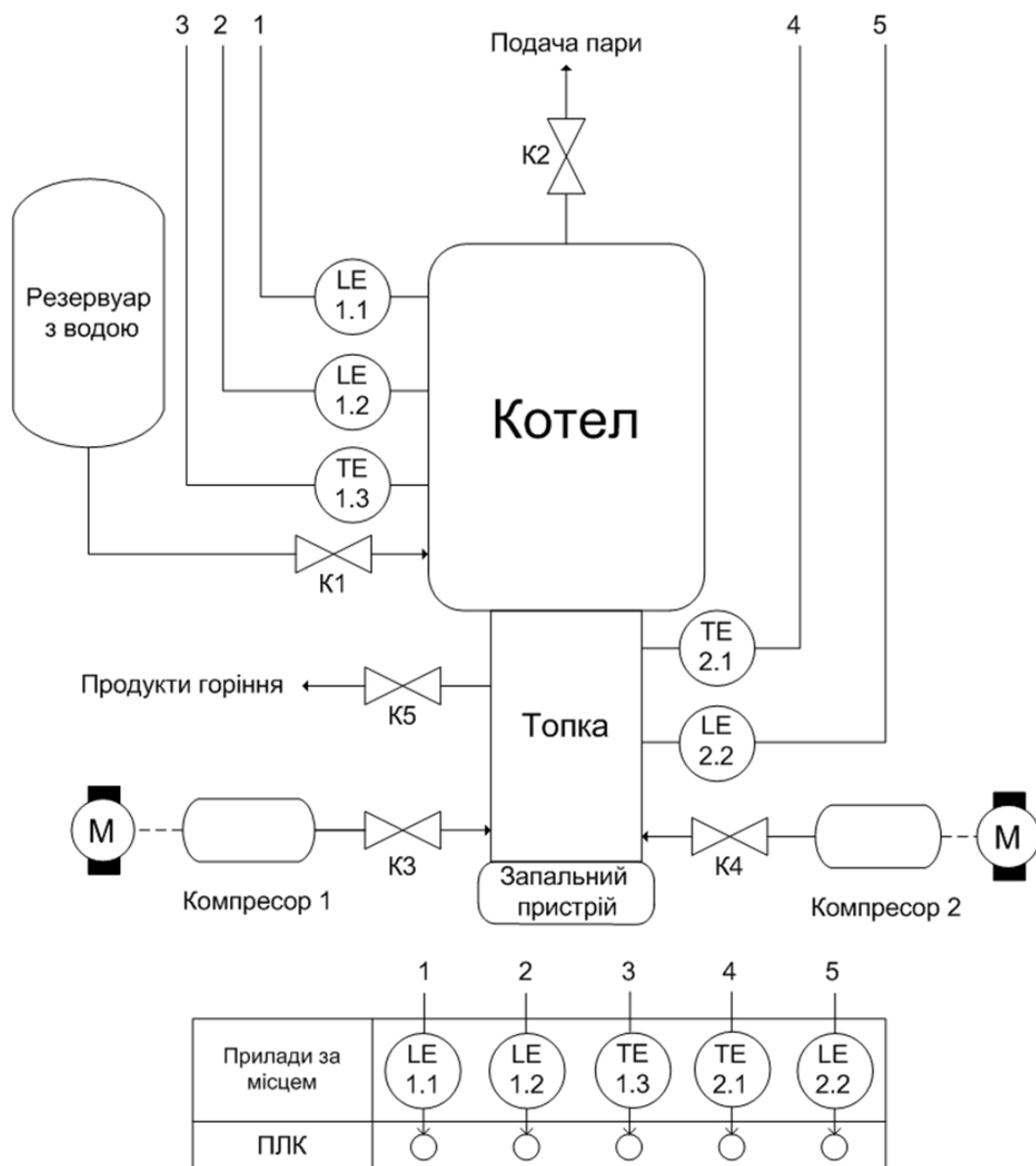


Рис. 2.1. Схема функціональна

Одним із ключових контурів автоматизації є контур контролю та підтримання рівня води в котлі. Для реалізації цього завдання застосовуються два дискретні датчики рівня: датчик верхнього рівня LE 1.1 та датчик нижнього рівня LE 1.2. Кожен із датчиків формує логічний сигнал при досягненні водою відповідної контрольної позначки. У початковому стані резервуар живильної води вважається порожнім, у зв'язку з чим запірний клапан К.1 перебуває у відкритому положенні, забезпечуючи подачу води в котел. Заповнення котла триває до моменту спрацювання датчика верхнього рівня LE 1.1, після чого клапан К.1 автоматично закривається, припиняючи подачу води.

У процесі експлуатації котла можливий відбір води з резервуара, що призводить до зниження рівня води. При досягненні нижнього граничного рівня спрацьовує датчик LE 1.2, який формує сигнал на повторне відкриття клапана К.1. Таким чином, реалізується циклічний режим автоматичного поповнення запасу води до моменту досягнення верхнього допустимого рівня. Такий принцип керування дозволяє підтримувати рівень води в заданих межах і запобігати як небезпечному зниженню рівня, так і його надмірному підвищенню.

Контроль температурного режиму пароутворення здійснюється за допомогою аналогового датчика температури TE 1.3, встановленого в парозбірнику. Сигнал з датчика використовується для керування запірним клапаном К.2, який регулює подачу пари до споживача. При досягненні температури пари значення 200 °С клапан К.2 автоматично відкривається, забезпечуючи відбір пари. У разі зниження температури нижче заданого порогу клапан закривається, що дозволяє стабілізувати температурний режим і запобігти подачі пари з ненормативними параметрами.

Забезпечення необхідної температури води та інтенсивності пароутворення в котлі досягається шляхом спалювання природного газу в топці. Для керування процесом горіння використовується система клапанів подачі газу та повітря. При спрацюванні датчика температури LE 2.2 здійснюється відповідна комутація виконавчих механізмів: клапани К.3 і К.4

закриваються, а клапан К.5 відкривається, або навпаки, залежно від поточного режиму роботи. Клапани К.3 і К.4 працюють синхронно, оскільки подача газу та повітря повинна здійснюватися у строго визначеному співвідношенні, необхідному для повного та стабільного згоряння палива. Клапан К.5 виконує функцію виведення паливних газів і забезпечує безпечний режим роботи топки.

Подача повітря до топкового простору здійснюється за допомогою компресора 1, тоді як подача газу реалізується компресором 2. При відключенні будь-якого з компресорів клапани К.3 і К.4 автоматично переходять у закрите положення, що виключає можливість неконтрольованого надходження газу або повітря в топку. Такий алгоритм керування суттєво підвищує рівень вибухо- та пожежобезпеки котельної установки.

Для ініціювання та підтримання процесу горіння необхідно забезпечити температуру в топці не нижче 300 °С. Контроль цього параметра здійснюється за допомогою датчика температури ТЕ 2.1. У разі зниження температури нижче заданого порогового значення автоматично вмикається запальний пристрій, який забезпечує стабільне займання паливної суміші. Після досягнення температури 300 °С запальний пристрій вимикається, а подальше горіння підтримується за рахунок основного подавання газу та повітря.

Функціональна схема також передбачає реалізацію аварійних режимів роботи. У випадку виникнення аварійної ситуації всі запірні клапани автоматично закриваються, компресори зупиняються, а на пульт керування подається сигнал аварійної індикації. Такий алгоритм дій дозволяє оперативно припинити небезпечні процеси та запобігти пошкодженню обладнання або створенню загрози для обслуговуючого персоналу.

Для запобігання виникненню гідроударів у трубопроводах передбачено введення часової затримки між відкриттям клапанів К.3 і К.4 та пуском компресорів. Тривалість затримки становить 2 секунди, що є достатнім для стабілізації гідравлічних умов у системі подачі газу та повітря. Застосування такого технічного рішення підвищує надійність роботи трубопроводів і зменшує механічні навантаження на обладнання.

Розроблена функціональна схема автоматизованої системи керування, що представлена на рис. 2.1, забезпечує комплексний контроль і регулювання основних технологічних параметрів паро-котельної установки. Її реалізація дозволяє підтримувати задані режими роботи котла, підвищити рівень безпеки та економічності, а також мінімізувати вплив людського фактору, що повністю відповідає меті та завданням даної роботи.

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

3.1. Вибір первинних перетворювачів та виконавчих механізмів

Електромагнітний клапан

У складі автоматизованої системи керування паро-котельною установкою важливу роль відіграють виконавчі механізми, які забезпечують надійне та оперативне керування потоками робочих середовищ. Одним із таких елементів є електромагнітний клапан, що застосовується для автоматичного перекриття або відкриття подачі води, пари, газу чи повітря відповідно до керуючих сигналів системи автоматизації.

Для реалізації функцій запірного органу в розроблюваній системі керування обрано електромагнітний клапан CEME 9914 1/2" TEF180C, який працює за принципом прямої дії та має нормально-закриту конструкцію. Зовнішній вигляд і загальна конструкція клапана наведена на рис. 3.1 .



Рис. 3.1. Електромагнітний клапан CEME 9914

Обраний клапан призначений для використання в системах автоматизації промислових теплотехнічних установок, зокрема у парових котлах, де до виконавчих механізмів висуваються підвищені вимоги щодо термостійкості, герметичності та надійності. Клапан CEME 9914 здатний працювати при температурі робочого середовища до 180 °С, що повністю відповідає умовам експлуатації в паро-котельних установках.

Особливістю даного електромагнітного клапана є можливість його роботи при нульовому перепаді тиску, що дозволяє застосовувати його в системах з низьким або змінним тиском без ризику порушення працездатності. Завдяки прямій дії відкривання клапана здійснюється безпосередньо під впливом електромагнітного поля котушки, що підвищує швидкодію та надійність спрацювання.

Корпус клапана виготовлений з латуні та додатково посилений втулкою з нержавіючої сталі, а запірний елемент також виконаний із нержавіючої сталі.

Таке конструктивне рішення забезпечує високу корозійну стійкість і стабільність роботи при тривалому впливі підвищених температур. Для ущільнення використовується матеріал PTFE, який характеризується термостійкістю та хімічною інертністю, що є важливим для роботи з паром та газоподібними середовищами.

Конструктивні особливості електромагнітного клапана СЕМЕ 9914 узагальнено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Основні конструктивні особливості електромагнітного клапана СЕМЕ 9914

Параметр	Значення
Тип клапана	Нормально-закритий
Принцип дії	Пряма дія
Механізм затвора	Самозмащувальний поршень
Матеріал корпусу	Латунь
Матеріал запірного елемента	Нержавіюча сталь
Тип ущільнення	PTFE
Монтажне приєднання	Внутрішня різьба
Номинальний діаметр підключення	G 1/2
Пропускний діаметр	8 мм

Технічні характеристики клапана, які визначають можливість його застосування в автоматизованій системі керування паро-котельною установкою, наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Технічні характеристики електромагнітного клапана СЕМЕ 9914

Характеристика	Значення
Робоче середовище	Вода, пара, повітря, газ, світле масло
Максимальна робоча температура	180 °C
Максимальний робочий тиск	5 бар
Мінімальний робочий тиск	0 бар
Пропускна здатність	0,73 м³/год
Споживана потужність	14 Вт
Напруга живлення	230 В
Частота живлення	50 Гц
Тип сумісної котушки	B12
Габаритні розміри котушки	37,5 × 42 мм
Маса клапана	0,5 кг

Вибір електромагнітного клапана СЕМЕ 9914 для автоматизованої системи керування паро-котельною установкою є обґрунтованим з точки зору

відповідності робочим параметрам технологічного процесу, надійності, безпеки та довговічності. Застосування дозволяє забезпечити точне та швидке керування потоками робочих середовищ, що є необхідною умовою ефективної реалізації алгоритмів автоматичного регулювання та аварійного захисту котла.

Компресори для повітря

У складі автоматизованих енергетичних та теплотехнічних установок важливе місце займають системи стисненого повітря, які забезпечують роботу пневматичних виконавчих механізмів, систем керування, запуск силових агрегатів і перемикання силових елементів. Для формування необхідного тиску та витрати повітря застосовуються компресорні установки, що повинні характеризуватися високою надійністю, стабільністю параметрів і можливістю тривалої безперервної роботи.

Для реалізації зазначених функцій, у системі обрано поршневі компресори високого та середнього тиску JAB, які здатні забезпечувати кінцевий тиск стиснення до 40 бар. Загальний вигляд компресорної установки наведено на рис. 3.2 .



Рис. 3.2. Компресори для повітря

Компресори JAB широко застосовуються в промислових системах автоматизації, зокрема як джерело стисненого повітря для видування ПЕТ-тари, запуску дизельних двигунів, а також на електростанціях для керування силовими високовольтними пневматичними вимикачами. Їх конструкція забезпечує компактність, зручність монтажу та експлуатації, а також високу експлуатаційну надійність.

Компресори серії JAB SV випускаються у дво-, три- та чотирициліндровому виконанні та працюють при атмосферному тиску на вході з підвищенням тиску на нагнітанні до 40 бар. Основні робочі параметри компресорів цієї серії узагальнено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Основні робочі параметри компресорів JAB серії SV

Параметр	Значення
Початковий тиск на всмоктуванні	Атмосферний
Максимальний тиск нагнітання	До 40 бар
Діапазон продуктивності	125–3020 л/хв
Тип стиснуваного газу	Атмосферне повітря
Тип охолодження	Повітряне

Для ретельного аналітичного опрацювання в рамках проєкту розглядається використання компресора високого тиску моделі JAB SV 125/40, що призначений для стиснення атмосферного повітря до максимального тиску в 40 бар. Цей компресор являє собою ефективний пристрій із двома циліндрами, побудований за принципом двоступеневої компресії, який працює в режимі односторонньої дії з використанням системи повітряного охолодження. Джерелом приводу компресора служить електродвигун, який з'єднується з агрегатом через фланцевий механізм. Завдяки застосуванню еластичної муфти, забезпечується плавне увімкнення компресора в роботу, що сприяє значному зменшенню динамічних навантажень та підвищенню надійності його функціонування.

Інтенсивне охолодження циліндрів, головки блока та міжступневих радіаторів забезпечується вбудованими вентиляторами, що дозволяє знизити теплові навантаження та підтримувати температуру стисненого повітря лише на 10 °C вище температури навколишнього середовища. Такий режим роботи сприяє підвищенню енергоефективності та довговічності компресорної установки.

Масильна система компресора працює під тиском і виконує одночасно кілька функцій: змащення колінчастого вала та шатунів, охолодження поршнів і циліндрів, а також керування автоматичною системою розвантаження. Це забезпечує можливість цілодобової безперервної експлуатації компресора без зупинок на охолодження.

Технічна довершеність та експлуатаційна стійкість обраного агрегату зумовлені його специфічним компонуванням, яке охоплює систему двоступеневого стиснення та примусове мащення під тиском. Детальний опис

конструктивних нюансів компресора JAB SV 125/40, що гарантують його стабільне функціонування в інтенсивних режимах, подано у таблиці 3.4

Таблиця 3.4

Конструктивні особливості компресора JAB SV 125/40

Ознака	Характеристика
Тип приводу	Прямий, через еластичну муфту
Кількість ступенів стиснення	2
Кількість циліндрів	2
Тип охолодження	Повітряне
Масильна система	Під тиском
Наявність міжступеневих охолоджувачів	Так
Антивібраційні опори	Так
Автоматичне розвантаження	Так, з соленоїдним клапаном
Автоматичний злив конденсату	Так

Для забезпечення безпечної та стабільної роботи компресорна установка оснащена комплексом захисних і контрольних засобів, зокрема запобіжними клапанами на кожному ступені стиснення, датчиком тиску масла, манометрами тиску повітря та масла, а також системою автоматичного розвантаження перед повторним запуском. Це дозволяє зменшити механічні навантаження і підвищити ресурс обладнання. Основні технічні характеристики компресора JAB SV 125/40 наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Технічні характеристики компресора JAB SV 125/40

Параметр	Значення
Стислий газ	Атмосферне повітря
Максимальний робочий тиск	40 бар
Продуктивність	125 Нл/хв
Потужність електродвигуна	2,2 кВт
Клас захисту двигуна	IP55, IE3
Напруга живлення	400 В
Частота живлення	50 Гц
Кількість фаз	3
Швидкість обертання	1000 об/хв
Діапазон робочих температур	від +5 до +40 °С
Рівень шуму	72 дБ(А)
Габаритні розміри (Д×Ш×В)	650 × 500 × 590 мм
Колір компресора	RAL 9006
Колір кожуха вентилятора	RAL 5019

Завдяки здатності забезпечувати максимальний тиск до 40 бар та високій надійності, модель JAB SV 125/40 демонструє багатофункціональність у виконанні складних промислових завдань. Окрім прямого призначення у системах ПЕТ-видуву та керування високовольтними вимикачами, технічні характеристики даного агрегату дозволяють ефективно використовувати його для опресовування трубопроводів на герметичність, перекачування газів між резервуарами та забезпечення роботи випробувальних стендів.

Даний компресор не лише відповідає жорстким вимогам до автоматизованих енергетичних систем, але й є технічно обґрунтованим вибором для реалізації завдань даного проєкту. Його впровадження гарантує стабільність подачі стисненого повітря, високу енергоефективність та безпеку експлуатації в межах розробленої системи керування.

Газовий компресор

У системах автоматизованого керування теплотехнічними та енергетичними установками газові компресори відіграють важливу роль як елементи підсистеми паливостачання. Вони забезпечують необхідний тиск і стабільну подачу природного газу до пальникових пристроїв, що є критичним для надійної, економічної та безпечної роботи паро-котельної установки. Вибір газового компресора повинен здійснюватися з урахуванням робочих параметрів системи, вимог до безпеки, можливості тривалої безперервної експлуатації та сумісності з автоматизованими засобами керування.

Розглядаємо газові компресори високого тиску JAB, спеціально спроектовані для стиснення природного газу. Загальний вигляд газового компресора наведено на рис. 3.3 .



Рис. 3.3. Газовий компресори

Компресори JAB мають модульну конструкцію та характеризуються прямим приводом від електродвигуна до блоку циліндрів. Застосування еластичної муфти між компресором і електродвигуном забезпечує плавний пуск установки, зменшення динамічних навантажень та підвищення ресурсу механічних вузлів. Інтенсивне охолодження стисненого газу реалізується за рахунок проміжних і кінцевих охолоджувачів повітряного або водяного типу, що дозволяє обмежити зростання температури газу на виході на рівні близько 10 °С відносно температури навколишнього середовища.

Масильна система компресора працює під тиском і виконує функції змащування колінчастого вала та шатунів, а також забезпечує роботу автоматичної системи розвантаження. Це рішення сприяє стабільній роботі компресорної установки та підвищує її експлуатаційну надійність. У стандартну комплектацію входять зворотний клапан, клапан мінімального тиску на нагнітанні та фільтр тонкого очищення газу, що забезпечує захист обладнання та підвищує якість газу, який подається в технологічний процес.

Для безпечного повторного запуску після зупинки компресора передбачено автоматичне розвантаження системи. Запуск здійснюється за схемою «зірка–трикутник», при цьому використовується стартовий соленоїдний клапан, який забезпечує пуск без навантаження. Основні робочі діапазони газових компресорів JAB наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Робочі діапазони газових компресорів JAB

Параметр	Значення
Діапазон продуктивності (повітряне охолодження)	125–3433 л/хв
Діапазон продуктивності (водяне охолодження)	3000–24 000 л/хв
Тиск на всмоктуванні	0,02–8 бар
Кінцевий тиск на нагнітанні	40–300 бар

Газові компресори JAB знаходять широке застосування у промисловості, зокрема для перекачування природного газу, заправки газових балонів, подачі газу в турбінні установки, перекачування попутного нафтового газу та реалізації різних технологічних процесів, пов'язаних зі стисненням газів. У контексті даного проєкту вони розглядаються як елемент системи автоматизованого газопостачання котла.

Для детального аналізу обрано газовий компресор JAB SV 125/40 NG, призначений для стиснення природного газу до тиску 40 бар. Даний компресор є двоциліндровою, двоступеневою машиною односторонньої дії з повітряним охолодженням. Інтенсивне охолодження циліндрів, головки блока та радіаторів кожного ступеня стиснення забезпечується вентиляторами, що дозволяє підтримувати низьку температуру газу та стабільні робочі параметри навіть за тривалої експлуатації.

Застосування антивібраційних опор дозволяє встановлювати компресор без спеціального фундаменту, що спрощує його інтеграцію в існуючі технологічні системи. Автоматичний злив конденсату з міжступневих сепараторів здійснюється як під час роботи, так і при зупинці компресорної

установки, що додатково підвищує надійність системи. Конструктивні особливості компресора JAB SV 125/40 NG узагальнено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

Конструктивні особливості газового компресора JAB SV 125/40 NG

Ознака	Характеристика
Тип приводу	Прямий, через еластичну муфту
Кількість ступенів стиснення	2
Кількість циліндрів	2
Тип охолодження	Повітряне
Система мастила	Під тиском
Автоматичне розвантаження	Так
Міжступеневі охолоджувачі	Так
Антивібраційні опори	Так
Автоматичний дренаж конденсату	Так
Система керування	Електронна, для вибухонебезпечних зон

Безпека експлуатації компресорної установки забезпечується комплексом захисних засобів, серед яких запобіжні клапани на кожному ступені стиснення, датчик тиску масла, система контролю температури та манометри тиску газу і масла. Це дозволяє своєчасно виявляти аварійні режими та автоматично відключати компресор у разі відхилення параметрів від допустимих значень. Технічні характеристики газового компресора JAB SV 125/40 NG наведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

Технічні характеристики газового компресора JAB SV 125/40 NG

Параметр	Значення
Стислий газ	Природний газ
Максимальний робочий тиск	40 бар
Продуктивність	125–150 Нл/хв
Тиск на вході	0,02–0,3 бар
Потужність електродвигуна	1,9 кВт
Клас захисту двигуна	IP55, IE2
Напруга живлення	400 В
Частота живлення	50 Гц
Кількість фаз	3
Швидкість обертання	1000 об/хв
Діапазон робочих температур	від +5 до +40 °С
Рівень шуму	72 дБ(А)
Габаритні розміри (Д×Ш×В)	650 × 495 × 520 мм

Колір компресора	RAL 9006
Колір кожуха вентилятора	RAL 5019

Газовий компресор JAB SV 125/40 NG за своїми конструктивними та експлуатаційними характеристиками повністю відповідає вимогам автоматизованих систем паливостачання паро-котельних установок і є доцільним для використання в проєктованій системі автоматизованого керування.

Газовий запальник

Газовий електронний запальник є одним із ключових елементів системи безпечного та надійного пуску паро-котельної установки. Його основне призначення полягає у забезпеченні стабільного розпалу головного пальника, формуванні пілотного факела та підтриманні стійкого горіння в топковому просторі котла. Використання електронного газового запальника дозволяє автоматизувати процес розпалювання, зменшити участь обслуговуючого персоналу та суттєво підвищити рівень експлуатаційної безпеки котлоагрегату.

У даному проєкті застосовується електронний газовий запальник (ЕЗ), призначений для роботи з природним газом та газоповітряними сумішами типу пропан–бутан. Загальний вигляд газового запальника наведено на рис. 3.4 .



Рис. 3.4. Газовий запальник

Запальник забезпечує дистанційний розпал котлоагрегату за командою від автоматизованої системи керування та може працювати як у режимі постійного підтримання пілотного факела, так і в режимі періодичного автоматичного розпалювання з заданою часовою або подієвою логікою. Такий підхід є особливо важливим у складі автоматизованих систем керування, де процеси пуску, зупинки та аварійного відключення повинні виконуватися швидко, надійно та без втручання оператора.

Робота газового запальника відбувається в активному повітряному середовищі, що дозволяє використовувати його в топках як з природною тягою, так і з примусовим розрідженням. Сформований запальником факел має достатню довжину та теплову потужність для гарантованого запалювання основного пальника навіть за змінних теплотехнічних умов у топці.

Застосування електронного газового запальника є доцільним у широкому спектрі теплотехнічного обладнання, зокрема у стаціонарних та мобільних котлоагрегатах, технологічних установках з пальниковими пристроями, а також у промислових теплоагрегатах. У контексті даної автоматизованої системи керування запальник інтегрується з датчиками температури, тиску та системами захисту, що дозволяє реалізувати алгоритми безпечного пуску та автоматичного припинення подачі газу у разі згасання полум'я. Технічні параметри електронного газового запальника наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Основні технічні характеристики газового електронного запальника

Параметр	Значення
Робоче середовище	Природний газ, пропан-бутан
Діапазон приєднувального тиску газу перед запальним пальником	1–250 кПа
Максимальна теплова потужність при роботі на природному та зрідженому газі	до 100 кВт
Довжина факела при відрегульованому режимі горіння	не менше 0,8 м
Тип формування полум'я	Пілотний факел
Діаметр вхідного штуцера	13 мм
Режим роботи	Безперервний або автоматичний (циклічний)
Спосіб розпалу	Електронний

Використання електронного газового запалювача в автоматизованій системі керування паро-котельною установкою забезпечує зростання надійності процесу розпалювання, зниження вірогідності аварійних ситуацій, а також створює потрібні умови для втілення сучасних алгоритмів автоматичного пуску та захисту.

Датчик температури

Одним із ключових первинних перетворювачів в автоматизованій системі керування паро-котельною установкою є датчик температури, призначений для безперервного вимірювання температурних параметрів робочих середовищ та формування достовірної інформації для систем регулювання, контролю і захисту. Температурні вимірювання відіграють визначальну роль у забезпеченні безпечного та економічно ефективного функціонування котлоагрегату, оскільки саме температура характеризує інтенсивність процесів горіння, теплопередачі та пароутворення.

У проєктованій системі застосовуються термометри опору типу ДТСхх5, які призначені для вимірювання температури твердих, рідких та газоподібних середовищ, що не є агресивними відносно матеріалу захисної арматури та чутливого елемента датчика. Такі датчики можуть використовуватися для контролю температури пари, води, газу, продуктів згоряння, а також інших технологічних середовищ, характерних для паро-котельних установок.

Конструктивно термометр опору складається з чутливого елемента, захисної металевої арматури та комутаційної головки. Як чутливі елементи застосовуються платинові або мідні термоопори. Платинові чутливі елементи (типу Pt100, Pt500, Pt1000) забезпечують вимірювання температур у широкому діапазоні — до 500 °С, що дозволяє використовувати їх для контролю температури в топці та інших зонах з підвищеним тепловим навантаженням. Мідні чутливі елементи застосовуються для вимірювання температур до 180 °С і доцільні для контролю температури живильної води або пари в допоміжних контурах.

Номінальні статичні характеристики термометрів опору відповідають

вимогам ДСТУ 2828:2015 і визначаються типом чутливого елемента. Для мідних термоопорів використовуються характеристики ТСМ 50М та 100М, а для платинових — ТСП 50П, 100П, а також стандартні Pt100, Pt500 і Pt1000. Лінійна залежність опору від температури забезпечує високу точність та стабільність вимірювань у всьому робочому діапазоні.

Підключення датчиків до вимірювальних кіл автоматизованої системи керування здійснюється за допомогою двопровідної, трипровідної або чотирипровідної схем, що дозволяє зменшити вплив опору з'єднувальних ліній на результат вимірювання та підвищити точність сигналу, особливо при значній довжині кабелів. Для з'єднання використовується мідний кабель, який підбирається відповідно до умов експлуатації.

Термометри опору типу ДТСхх5 характеризуються високою механічною міцністю та стійкістю до зовнішніх впливів. За показниками механічної стійкості відповідно до ГОСТ 12997 вони належать до груп V2 або N2 залежно від виконання. Захисна арматура виготовляється з корозійностійкої сталі типу 12X18H10T, що забезпечує можливість роботи при підвищеному тиску до 6,3 МПа та в умовах високої вологості й температури.

Показник теплової інерції датчиків знаходиться в межах 10–30 секунд, що є достатнім для адекватного відображення динаміки температурних процесів у паро-котельній установці. Опір ізоляції не менше 100 МОм гарантує електричну надійність та відсутність паразитних струмів у вимірювальному колі. Датчики можуть виконуватися з одним або двома чутливими елементами, що підвищує їх функціональність та дозволяє реалізовувати резервування вимірювань.

Важливим фактором експлуатаційної надійності є температурна стійкість комутаційної головки. Для головок з алюмінієвого сплаву допустима робоча температура становить до 200 °С, тоді як для поліамідних — до 120 °С. Ступінь захисту датчиків відповідає класу IP54, а при використанні металевої комутаційної головки — IP65, що дозволяє застосовувати їх у запилених та вологих приміщеннях котелень.

Монтаж термометрів опору на об'єкті вимірювання здійснюється із

застосуванням захисних гільз типу ГЗ.16 та ГЗ.25, а також монтажних втулок і знімних штуцерів, що забезпечує зручність встановлення, обслуговування та заміни датчиків без зупинки технологічного процесу. Вигляд термометра опору з комутаційною головкою наведено на рис. 3.5 .



Рис. 3.5. Датчик температури

Застосування термометрів опору типу ДТСхх5 у складі автоматизованої системи керування паро-котельною установкою забезпечує високу точність, надійність і стабільність температурних вимірювань, що є необхідною умовою для реалізації ефективних алгоритмів регулювання, контролю та захисту котлоагрегату.

Датчики рівня

Для забезпечення безпечної та стабільної роботи паро-котельної установки важливе значення має контроль рівня робочої рідини в резервуарах, зокрема в баках живильної води та допоміжних ємностях. З цією метою в системі автоматизації застосовуються дворівневі поплавкові датчики рівня ОВЕН ПДУ, призначені для сигналізації граничних значень мінімального та максимального рівнів рідини в закритих і відкритих резервуарах.

Датчики рівня ОВЕН ПДУ належать до простих і водночас надійних засобів контролю, принцип дії яких ґрунтується на механічному переміщенні поплавця вздовж штока в залежності від зміни рівня рідини. Усередині поплавця розміщено постійний магніт, а в штоку датчика встановлений герконовий контакт. При досягненні заданого рівня рідини поплавець створює магнітне поле, під дією якого відбувається замикання або розмикання контактів

геркона, внаслідок чого на виході датчика формується дискретний сигнал для системи автоматичного керування.

Дворівневі поплавкові датчики ПДУ випускаються з нормально-замкнутими або нормально-розімкненими контактами, що дозволяє гнучко інтегрувати їх у схеми сигналізації, блокування та аварійного захисту. Загальнопромислове виконання датчиків передбачає використання корозійностійкої нержавіючої сталі марки 12Х18Н10Т для корпусу та робочих елементів, а також сталі AISI 316L для поплавців, що забезпечує високу хімічну та механічну стійкість у процесі експлуатації.

Датчики рівня ОВЕН ПДУ призначені для роботи з різноманітними рідинами, які не утворюють вибухонебезпечних летких сполук і не проявляють корозійної активності відносно матеріалу датчика. Вони можуть застосовуватися для контролю чистих, забруднених, в'язких та агресивних середовищ, у тому числі таких, що містять механічні домішки. Наявність у контрольованому середовищі бульбашок газу або піни практично не впливає на достовірність спрацювання датчика, що є важливою перевагою при використанні в технологічних установках.

Залежно від фізико-хімічних властивостей рідини використовуються різні конструктивні виконання поплавців. Для контролю рівня нев'язких рідин доцільно застосовувати датчики з циліндричним поплавцем типів ПДУ-1.2 та ПДУ-2.2. Для контролю забруднених або в'язких рідин рекомендовано використовувати датчики з кулеподібним поплавцем типу ПДУ-3.2, конструкція якого забезпечує надійну роботу навіть за умов налипання домішок.

За способом встановлення випускаються датчики з горизонтальним і вертикальним типами монтажу, що розширює можливості їх застосування в резервуарах різної конструкції та об'єму. Загальний вигляд дворівневого поплавкового датчика рівня ОВЕН ПДУ наведено на рис. 3.6, а варіанти виконання датчиків із різними типами монтажу показано на рис. 3.7.



Рис. 3.6. Датчик рівня

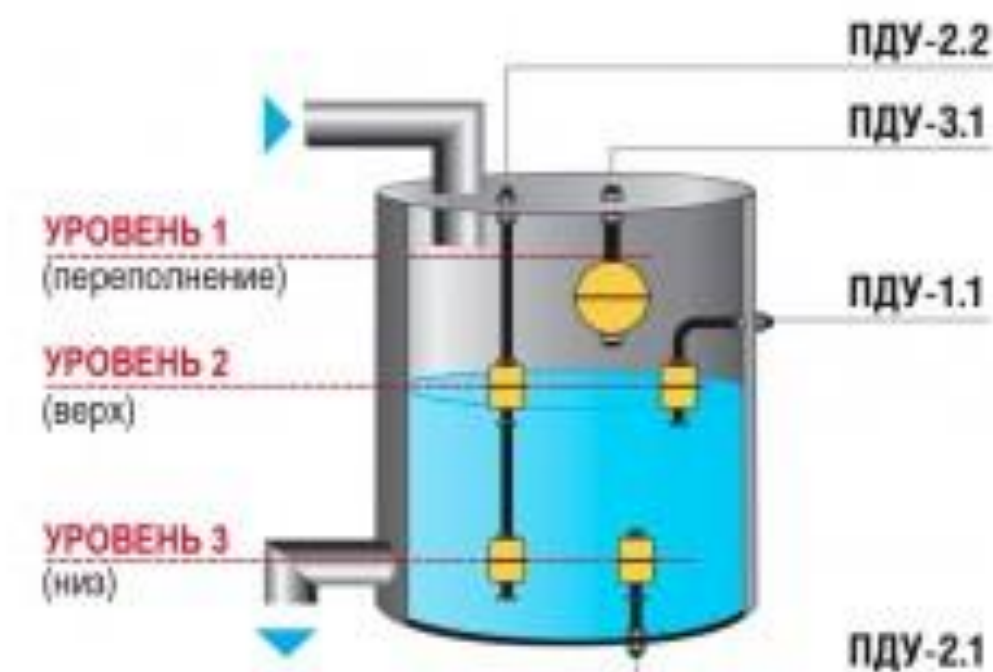


Рис. 3.7. Варіанти виконання датчиків рівня

Електричні та конструктивні параметри датчиків рівня ОВЕН ПДУ визначають їх функціональні можливості та умови експлуатації. Датчики забезпечують контроль двох рівнів, характеризуються достатньою комутованою потужністю, струмом і напругою для використання в системах промислової автоматики, а також високою зносостійкістю контактів, що гарантує до одного мільйона циклів спрацювання. Максимальна довжина штока, допустимі значення температури та тиску контролюваного середовища, ступінь захисту оболонки IP68, а також матеріали виконання

робочої частини забезпечують можливість застосування датчиків у складних умовах експлуатації. Характеристики датчиків рівня ОВЕН ПДУ наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Технічні характеристики датчиків рівня

Назва параметра	Значення		
	ПДУ-1.2	ПДУ-2.2	ПДУ-3.2
Електричні параметри			
Кількість рівнів	2		
Максимальна комутована потужність, Вт	10	30	
Максимальна комутована струм, А	0,5	2	
Максимальна комутована напруга, В	180	300	
Кількість спрацювань при напрузі комутації постійного струму 24 В та струмі 0,25 А	1x10 ⁶		
Конструктивні параметри			
Розташування осі монтажного отвору датчика у резервуарі	Горизонтальне		Вертикальне
Максимальна довжина штоку від нижнього рівня, мм	2500		3000
Стан контактів датчика у нижньому положенні поплавка	Нормально – розімкнений Нормально – замкнений		
Температура контрольованого середовища, c°	-40...+105		
Тиск контрольованого середовища, МПа	1,6	4	
Матеріал робочої частини датчика	Сталь 12Х18Н10Т та AISI 316L (поплавок)		
Ступінь захисту за ГОСТ 14254	IP68		
Довжина кабельного виводу, м, не менше	0,2		

Підключення датчиків до системи автоматичного регулювання здійснюється за допомогою кабельного виводу, який може виконуватися із застосуванням силіконового кабелю AWG24 або проводу типу НВ 0,35 необхідної довжини. Це забезпечує зручність монтажу та надійність електричного з'єднання.

Застосування дворівневих поплавкових датчиків рівня ОВЕН ПДУ в автоматизованій системі керування паро-котельною установкою дозволяє реалізувати ефективний контроль граничних рівнів рідини, підвищити рівень промислової безпеки та запобігти аварійним ситуаціям, пов'язаним із переповненням або зниженням рівня робочого середовища.

Датчики тиску

Для забезпечення надійного та безпечного функціонування автоматизованих теплотехнічних і енергетичних установок важливе значення має безперервний контроль параметрів тиску робочих середовищ. З цією метою в системі автоматичного керування застосовуються датчики тиску ОВЕН ПД100-ДІ моделей 111/171/181, призначені для перетворення надлишкового тиску рідких і газоподібних середовищ, хімічно нейтральних відносно матеріалу датчика, в уніфікований аналоговий сигнал постійного струму 4...20 мА.

Конструктивно датчики оснащені вимірювальною мембраною з нержавіючої сталі AISI 316L, що забезпечує високу корозійну стійкість та довговічність при роботі з газами, парою та слабоагресивними рідинами. Загальний вигляд датчиків тиску ОВЕН ПД100-ДІ наведено на рис. 3.8 .



Рис. 3.8. Датчики тиску

Принцип дії датчиків базується на використанні тензорезистивного сенсора, виконаного за технологією КНК. Вимірювальний елемент являє собою тензометричний резистивний міст, сформований на монокристалі кремнію методом дифузії. Під дією тиску мембрана деформується, що викликає зміну електричного опору тензорезисторів і, відповідно, формування пропорційного електричного сигналу. Така конструкція забезпечує високу чутливість, стабільність показників і точність вимірювання.

Датчики ОВЕН ПД100-ДІ призначені для вимірювання надлишкового тиску в широкому діапазоні верхніх меж вимірювання — від 16 кПа до 25 МПа. Основна приведена похибка залежно від модифікації становить 0,5 або 1,0 % від верхньої межі вимірювання, що відповідає вимогам до промислових систем автоматичного контролю. Висока перевантажувальна здатність датчиків, яка становить не менше 200 % від ВПІ, а граничний тиск перевантаження — до 400 % від ВПІ, забезпечує їх стійкість до гідроударів і короточасних аварійних режимів.

Вихідний сигнал датчиків реалізований у вигляді стандартного двопровідного струмового інтерфейсу 4...20 мА, що забезпечує високу заводостійкість та сумісність з більшістю сучасних контролерів, регуляторів і систем диспетчеризації. Живлення датчиків здійснюється від джерела постійного струму з напругою в діапазоні 12...36 В, при цьому споживана потужність не перевищує 0,8 Вт. Допустимий опір навантаження визначається напругою живлення і може сягати 1,0 кОм.

Датчики зберігають працездатність у широкому діапазоні температур вимірюваного середовища — від -40 до $+100$ °С, а температура навколишнього повітря при експлуатації може змінюватися від -40 до $+80$ °С. Корпус датчика та електричний роз'єм мають ступінь захисту IP65, що забезпечує захист від пилу та струменів води і дозволяє використовувати прилади як у приміщеннях, так і на відкритому повітрі. За стійкістю до механічних впливів датчики відповідають групі виконання V3 згідно з ГОСТ, а за кліматичним виконанням — УХЛ3.1.

Підключення датчика до технологічного процесу здійснюється за допомогою манометричних штуцерів стандартних типорозмірів (M20×1,5, G1/2 або G1/4), що спрощує монтаж у пневматичних та гідравлічних системах. Електричне з'єднання реалізується через роз'єм типу EN175301-803 форма А (DIN 43650-A). Габаритна висота датчика не перевищує 115 мм, а маса становить близько 0,2 кг без упаковки.

Значний показник надійності підтверджується середнім часом напрацювання на відмову понад 500 000 годин та середнім терміном служби не менше 12 років. Міжповірочний інтервал складає 2 роки, що відповідає вимогам до засобів вимірювальної техніки промислового призначення.

Умови експлуатації датчиків передбачають можливість їх роботи як у нормальних лабораторних умовах, так і в робочих умовах на відкритому повітрі або в приміщеннях без агресивних парів і газів, при відносній вологості повітря до 85 % без конденсації вологи. Це робить датчики тиску ОВЕН ПД100-ДІ доцільним вибором для використання в котельних установках, теплових пунктах, системах тепло- і водопостачання, а також у пневмо- та гідросистемах, де необхідний точний і надійний контроль тиску в складі автоматизованих систем управління.

Попереджувальна сигналізація

Для підвищення рівня безпеки експлуатації промислових об'єктів та транспортних засобів у складі автоматизованих і енергетичних систем застосовуються засоби світлової попереджувальної сигналізації. Одним із таких пристроїв є попереджувальна сигналізація LTE-1101J, призначена для візуального інформування персоналу про аварійні, небезпечні або нестандартні режими роботи обладнання та технологічних процесів.

Попереджувальна сигналізація LTE-1101J є універсальним світлосигнальним пристроєм, що може експлуатуватися в умовах підвищеної небезпеки, зокрема на промислових і гірничодобувних підприємствах, у виробничих приміщеннях, на відкритих майданчиках, а також на транспортних засобах спеціального призначення.

Вигляд пристрою наведено на рис. 3.9 .



Рис. 3.9. Попереджувальна сигналізація

Конструкція сигналізації забезпечує формування інтенсивного кругового світлового потоку з режимом пробліскового або безперервного світіння, що гарантує її високу помітність у складних метеорологічних умовах. Пристрій зберігає ефективність в умовах туману, дощу, снігопаду та сильного вітру, що є особливо важливим для екстрених і аварійних ситуацій. Яскраве імпульсне світіння дозволяє швидко привертати увагу обслуговуючого персоналу або учасників дорожнього руху, знижуючи ризик несанкціонованого доступу чи виникнення небезпечних подій.

Сигналізація LTE-1101J може виготовлятися для роботи з різними значеннями напруги живлення постійного або змінного струму, зокрема DC 12 В, 24 В, 110 В, 220 В або 380 В, що забезпечує її сумісність з різноманітними електричними системами та умовами експлуатації. Вибір напруги живлення здійснюється на етапі замовлення пристрою з урахуванням особливостей об'єкта та вимог електробезпеки.

Завдяки підвищеній механічній міцності та стійкості до впливу навколишнього середовища, попереджувальна сигналізація може встановлюватися на верхній частині корпусів обладнання, шаф керування, транспортних засобів і рухомих агрегатів. Пристрій широко застосовується на пожежних автомобілях, машинах швидкої допомоги, комунальній техніці,

зокрема поливальних машинах, а також на вантажних транспортних засобах, де необхідне постійне візуальне попередження про спеціальний режим руху або виконання робіт.

Використання попереджувальної сигналізації LTE-1101J у складі автоматизованих систем керування та безпеки дозволяє суттєво підвищити рівень оперативного інформування, забезпечити своєчасне реагування на аварійні ситуації та знизити ризики для персоналу й обладнання в умовах промислової та транспортної експлуатації.

3.2 Розроблення структурної схеми автоматизованої системи керування

Структурна схема автоматизованої системи керування (АСК) парокотельної установки відображає склад функціональних елементів системи, їх взаємозв'язок та загальні принципи інформаційної й керуючої взаємодії. Вона є узагальненим представленням архітектури системи керування та не деталізує внутрішні апаратні механізми обміну даними, зосереджуючись на функціональних зв'язках між підсистемами.

Центральною ланкою системи є програмований логічний контролер (ПЛК) типу SIMATIC S7-317-2 PN, який виконує функції збору, оброблення та логічного аналізу інформації від первинних вимірювальних перетворювачів, а також формування керуючих впливів на виконавчі механізми відповідно до заданого алгоритму керування. ПЛК працює спільно з блоком живлення, модулями введення-виведення аналогових і дискретних сигналів та панеллю оператора.

Вимірювальна підсистема системи керування включає датчики рівня, температури та тиску, які забезпечують контроль основних технологічних параметрів котлоагрегату. Датчики нижнього (Д1) та верхнього (Д2) рівнів води здійснюють дискретний контроль заповнення котла та використовуються для автоматичного керування подачею живильної води. Температурні режими контролюються за допомогою датчика температури топки (Д3) та датчика температури котла (Д4), що дозволяє забезпечити

стабільність процесу горіння та безпечну експлуатацію обладнання. Контроль надлишкового тиску в топці реалізується за допомогою датчика тиску (Д5), сигнали якого використовуються виключно для формування захисних і аварійних алгоритмів керування.

Виконавча підсистема включає електромагнітні клапани подачі газу, повітря, води та пари, газовий і повітряний компресори, електронний газовий запальник, а також засоби попереджувальної сигналізації. Електромагнітні клапани (далі — Y1–Y5) здійснюють керування потоками робочих середовищ і реалізують команди ПЛК у фізичному технологічному процесі. Газовий та повітряний компресори запускаються через проміжні реле, що забезпечує електричну розв'язку силових і керуючих кіл та підвищує надійність роботи системи. Електронний газовий запальник використовується для ініціації та стабілізації процесу горіння, а попереджувальна сигналізація — для інформування обслуговуючого персоналу про відхилення від нормальних режимів роботи.

Живлення елементів автоматизованої системи керування здійснюється від блока живлення PS 307, який забезпечує стабілізовану напругу для ПЛК, панелі оператора, модулів введення-виведення, датчиків та виконавчих механізмів. Така централізована система живлення сприяє підвищенню експлуатаційної надійності АСК.

Обмін даними між програмованим логічним контролером і панеллю оператора реалізується через промислову мережу Industrial Ethernet (Profinet), що відповідає функціональним можливостям контролера з індексом PN та забезпечує високошвидкісний і надійний зв'язок. Панель оператора використовується для візуалізації поточних параметрів технологічного процесу, індикації аварійних і попереджувальних повідомлень, а також для задання уставок і керуючих команд у межах дозволених режимів.

Сигнали від аналогових датчиків температури та тиску надходять до ПЛК через модулі аналогового введення, де відбувається їх перетворення у цифрову форму для подальшої програмної обробки. Дискретні сигнали від

датчиків рівня води зчитуються через модулі дискретного введення. Формування керуючих впливів здійснюється програмно, а передача команд на виконавчі механізми реалізується через відповідні модулі дискретного виведення.

Алгоритм роботи системи керування побудований за принципом пріоритету безпеки. Після запуску системи ПЛК ініціює роботу газового та повітряного компресорів, електронного запальника та електромагнітних клапанів подачі газу і повітря. У разі зниження рівня води до мінімально допустимого значення, що фіксується датчиком Д1, автоматично відкривається клапан подачі води, а після досягнення верхнього рівня, контрольованого датчиком Д2, подача води припиняється.

При перевищенні допустимої температури в топці або котлі (датчики Д3 і Д4) система керування переходить у захисний режим, який передбачає негайне відсікання подачі газу та повітря шляхом закриття відповідних електромагнітних клапанів і зупинки компресорів. У разі перевищення допустимого тиску в топці, зафіксованого датчиком Д5, ПЛК також реалізує аварійне вимкнення подачі палива. Безпосередній скидання надлишкового тиску в котлі здійснюється механічними запобіжними клапанами, що відповідає вимогам нормативної документації та правилам безпечної експлуатації котельного обладнання.

Таким чином, розроблена структурна схема автоматизованої системи керування забезпечує комплексний контроль і керування технологічними параметрами паро-котельної установки, підвищує рівень безпеки, надійності та автоматизації процесу, а також відповідає сучасним вимогам до промислових систем керування.

Структурна схема автоматизованої системи керування наведена на рис.3.10 .

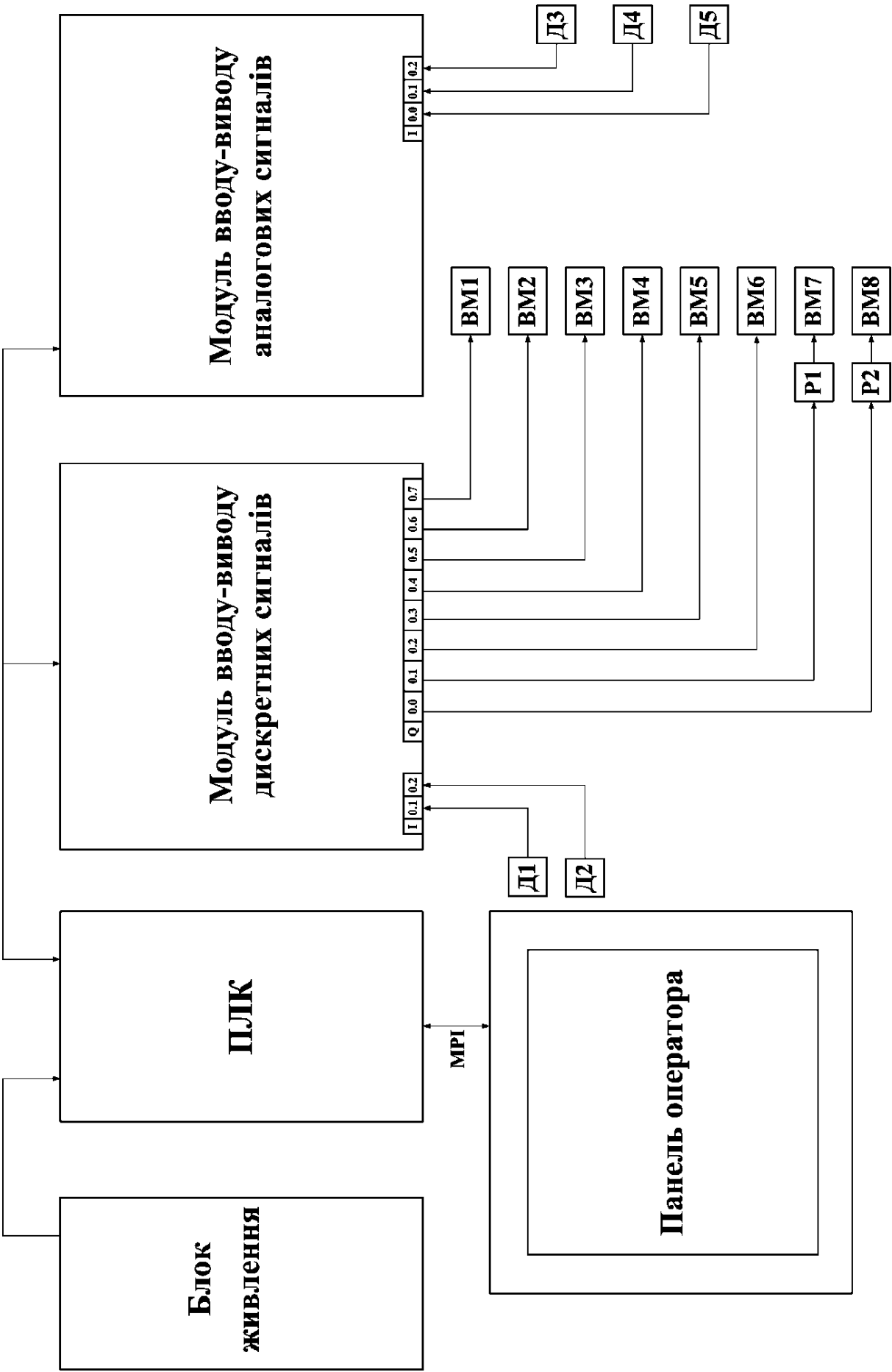


Рис. 3.10. Структурна блок-схема системи керування

4. СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1. Вибір компонентів системи

Блок живлення

Siemens SIMATIC PS 307 - це сімейство однофазних стабілізованих джерел живлення промислового призначення, розроблених для застосування в автоматизованих системах керування, зокрема у складі програмно-апаратних комплексів на базі ПЛК серії SIMATIC S7-300 та систем розподіленої периферії. Основним функціональним призначенням даного компонента є перетворення напруги однофазної мережі змінного струму на стандартизовану напругу постійного струму 24 В, яка використовується для живлення логічних модулів контролера, модулів введення-виведення, датчиків, виконавчих механізмів та допоміжних елементів автоматики (Рис.4.1.).



Рис. 4.1. Блок живлення

З конструктивної та функціональної точок зору PS 307 є імпульсним джерелом живлення з гальванічною розв'язкою між первинним та вторинним колами. Така архітектура забезпечує високий рівень електробезпеки, підвищену стійкість до електромагнітних завад і

стабільність вихідної напруги в умовах коливань параметрів живильної мережі. Блок живлення підключається до однофазної мережі змінного струму з номінальною напругою 120 або 230 В та частотою 50/60 Гц, що дозволяє застосовувати його в більшості промислових електромереж без додаткових перетворювальних пристроїв.

Сімейство PS 307 включає декілька модифікацій, які відрізняються за максимально допустимим вихідним струмом, зокрема 2 А, 5 А та 10 А при номінальній вихідній напрузі 24 В постійного струму. Така градація дозволяє гнучко масштабувати систему живлення залежно від сумарного енергоспоживання навантажень і забезпечувати необхідний резерв потужності. Вихідні кола виконані у вигляді стандартних клем із позначенням позитивного потенціалу та загального провідника, що спрощує інтеграцію джерела живлення в електричну схему шафи керування.

Важливою характеристикою PS 307 є висока стабільність вихідної напруги та її збереження в допустимих межах при зміні струму навантаження. Це має принципове значення для коректної роботи електронних модулів керування та вимірювальних пристроїв, чутливих до коливань напруги живлення. Крім того, блок живлення здатний працювати як джерело навантаження, тобто жити не лише внутрішні схеми контролера, а й зовнішні споживачі, такі як датчики, реле та індикатори, за умови дотримання допустимих струмових параметрів. PS 307 оснащений комплексом вбудованих захисних функцій, що істотно підвищує надійність системи в цілому. Зокрема, реалізовано захист від короткого замикання та перевантаження на виході, який працює в автоматичному режимі. У випадку виникнення аварійної ситуації вихідна напруга знижується або вимикається, а після усунення причини несправності відновлюється без необхідності ручного втручання. Такий принцип роботи забезпечує локалізацію відмов і зменшує ризик пошкодження як самого джерела живлення, так і підключеного обладнання. Для підвищення

експлуатаційної зручності PS 307 обладнаний світлодіодною індикацією наявності вихідної напруги 24 В. Індикація дозволяє оперативно оцінити стан живлення та спростити діагностику під час налагодження або технічного обслуговування системи. Поведінка індикатора також може сигналізувати про роботу джерела живлення в режимах, близьких до граничних, наприклад при перевантаженні. Монтаж блоку живлення здійснюється на стандартну DIN-рейку, що відповідає концепції модульного компонування шаф керування. Виріб розрахований на експлуатацію в умовах промислового середовища та потребує дотримання вимог щодо вентиляції і тепловідведення. Забезпечення мінімальних відстаней до сусідніх компонентів є необхідною умовою стабільного теплового режиму, який безпосередньо впливає на ресурс та довговічність електронних елементів джерела живлення.

Таблиця 4.1

Технічні характеристики

Параметр	PS 307 (2 A)	PS 307 (5 A)	PS 307 (10 A)
Тип пристрою	Імпульсне стабілізоване джерело живлення	Імпульсне стабілізоване джерело живлення	Імпульсне стабілізоване джерело живлення
Призначення	Живлення ПЛК, модулів I/O, датчиків та виконавчих механізмів	Те саме	Те саме
Вхідна напруга	120 / 230 В AC	120 / 230 В AC	120 / 230 В AC
Допустимий діапазон вхідної напруги	~85...264 В AC	~85...264 В AC	~85...264 В AC
Частота вхідної мережі	50 / 60 Гц	50 / 60 Гц	50 / 60 Гц
Вихідна напруга (номінальна)	24 В DC	24 В DC	24 В DC
Допустиме відхилення вихідної напруги	±5 %	±5 %	±5 %
Максимальний вихідний струм	2 А	5 А	10 А
Номінальна вихідна потужність	48 Вт	120 Вт	240 Вт
Тип регулювання	Стабілізоване, імпульсне	Стабілізоване, імпульсне	Стабілізоване, імпульсне

Гальванічна розв'язка	Є (між входом і виходом)	Є	Є
Захист від короткого замикання	Вбудований, автоматичне відновлення	Вбудований, автоматичне відновлення	Вбудований, автоматичне відновлення
Захист від перевантаження	Вбудований	Вбудований	Вбудований
Захист від холостого ходу	Є	Є	Є
Індикація роботи	Світлодіод «24 V DC»	Світлодіод «24 V DC»	Світлодіод «24 V DC»
Тип монтажу	DIN-рейка	DIN-рейка	DIN-рейка
Робоче положення	Вертикальне	Вертикальне	Вертикальне
Охолодження	Природна конвекція	Природна конвекція	Природна конвекція
Робоча температура	0...+60 °C	0...+60 °C	0...+60 °C
Ступінь захисту корпусу	IP20	IP20	IP20
Типове застосування	Невеликі системи автоматизації	Середні системи керування	Потужні системи автоматики

ПЛК

Програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-300 (Рис.4.2.) є модульною мікропроцесорною системою керування промислового класу, призначеною для реалізації функцій дискретного, аналогового та комбінованого керування технологічними процесами в умовах реального часу. За своєю сутністю S7-300 являє собою спеціалізовану обчислювальну платформу, оптимізовану для тривалої безперервної роботи в промисловому середовищі, де на перший план виходять детермінованість циклу виконання, стійкість до електромагнітних завад, розвинені діагностичні можливості та сумісність із широкою номенклатурою датчиків і виконавчих механізмів. Архітектурно система побудована за модульним принципом: у складі установки формуються функціональні вузли живлення, центральної обробки, введення/виведення сигналів, комунікації та розширення, що дозволяє масштабувати контролер відповідно до складності об'єкта автоматизації та вимог до продуктивності.



Рис. 4.2. ПЛК

Базовим елементом S7-300 є центральний процесорний модуль (CPU), який виконує програму користувача, забезпечує обмін даними з модулями введення/виведення, здійснює самодіагностику та підтримує комунікаційні протоколи. CPU включає мікропроцесор, системну та робочу пам'ять, таймери, лічильники, апаратні переривання та інтерфейсні блоки зв'язку. Принцип виконання керування у більшості застосувань реалізується за циклічною схемою «сканування»: контролер зчитує стан входів у внутрішній образ процесу (process image), далі послідовно виконує логіку програми користувача, а потім формує вихідні сигнали, записуючи їх у вихідний образ процесу і передаючи на фізичні вихідні канали. Така модель забезпечує відтворюваність часової поведінки системи та спрощує формалізацію алгоритмів керування. Окрім циклічного режиму, S7-300 підтримує подієво-орієнтовані механізми оброблення, зокрема апаратні переривання від дискретних подій, часові переривання з фіксованим періодом, а також реагування на

системні події, що критично важливо для задач із підвищеними вимогами до швидкодії або синхронізації. З позиції програмної моделі S7-300 характеризується структурованою організацією програм і даних. Логіка керування формалізується у вигляді програмних блоків різних типів: організаційних блоків, що визначають точки входу й режими виконання; функцій і функціональних блоків, які реалізують алгоритмічні підпрограми та повторно використовувані компоненти; блоків даних, де зберігаються параметри, технологічні змінні та внутрішні стани. Така декомпозиція дозволяє будувати програмне забезпечення у вигляді ієрархічної модульної структури, що підвищує читабельність, керованість складності та надійність супроводу. Для реалізації алгоритмів керування широко застосовуються бібліотечні елементи, зокрема типові ПД-регулятори, фільтрація сигналів, масштабування аналогових величин, функції діагностики та сервісні процедури. Програмування традиційно виконується в середовищі STEP 7, при цьому використовуються мови, орієнтовані на промислову автоматику (контактні схеми, функціональні блок-схеми, структурований текст та низькорівнева інструкційна форма), що забезпечує відповідність практикам ІЕС 61131-3 і зручність для інженерів-автоматників.

Важливою властивістю S7-300 є модульна система введення/виведення, яка охоплює дискретні та аналогові модулі, а також спеціалізовані модулі технологічних функцій. Дискретні модулі забезпечують приймання та формування двійкових сигналів, узгоджених із промисловими рівнями, і застосовуються для роботи з кінцевими вимикачами, датчиками стану, кнопками, контакторами, соленоїдами тощо. Аналогові модулі призначені для вимірювання та генерації неперервних величин (напруги, струму, температури, тиску, рівня), зазвичай із підтримкою стандартних промислових інтерфейсів типу 0–10 В або 4–20 мА, а також можливістю лінеаризації, цифрової фільтрації та діагностики обриву/перевантаження ліній. Модулі технологічних функцій

реалізують задачі, які вимагають апаратно-програмної спеціалізації: високошвидкісне лічення імпульсів, позиціювання, керування сервоприводами, вимірювання частоти, синхронізацію, керування ваговими системами тощо. Сукупно це дозволяє будувати системи керування від відносно простих дискретних автоматів до розвинених багатоконтурних систем регулювання з координатними приводами та вимірювальними підсистемами.

Апаратна інтеграція модулів S7-300 здійснюється через монтаж на стандартизовану рейку з використанням задньої шини (backplane bus), яка забезпечує обмін даними між CPU та модулями введення/виведення, а також розподіл службових сигналів керування. Система живлення, як правило, формує 24 В постійного струму для живлення електроніки та польових пристроїв; блок живлення виконує стабілізацію, фільтрацію та захист, що безпосередньо впливає на завадостійкість і надійність усієї установки. Модульна компоновка дозволяє реалізувати як централізовану архітектуру (усі модулі в одній шафі), так і розподілену (частина модулів введення/виведення винесена ближче до об'єкта) за рахунок використання комунікаційних мереж і станцій периферії. Комунікаційні можливості S7-300 є ключовими для побудови сучасних АСКТП, оскільки контролер зазвичай працює не ізольовано, а в мережі з панелями оператора, SCADA-системами, частотними перетворювачами, інтелектуальними датчиками та іншими контролерами. Для цього застосовуються інтерфейси та комунікаційні процесори, які реалізують промислові мережі й протоколи (типово MPI/DP, PROFIBUS, а також Ethernet/PROFINET через відповідні модулі зв'язку). Наявність стандартизованих мережевих механізмів забезпечує масштабованість системи, можливість централізованого моніторингу, синхронізацію між вузлами та інтеграцію в інформаційну інфраструктуру підприємства.

Табл. 4.2.

Технічні характеристики ПЛК S7-300

Параметр	Характеристика
Тип пристрою	Модульний програмований логічний контролер
Клас контролера	Середній рівень продуктивності
Архітектура	Модульна, з центральним процесором (CPU)
Напруга живлення системи	24 В DC
Тип живлення	Від зовнішнього джерела живлення
Центральний процесор	CPU сімейства S7-300 (CPU 312–CPU 319)
Робоча пам'ять	Залежить від типу CPU (від кількох кБ до кількох МБ)
Пам'ять завантаження	Flash або Micro Memory Card
Принцип виконання програми	Циклічний та подієвий
Час виконання логічних операцій	Одиниці мікросекунд (залежно від CPU)
Кількість дискретних входів/виходів	До кількох тисяч (з модулями розширення)
Аналогові входи/виходи	Підтримуються через аналогові модулі
Типи аналогових сигналів	0–10 В, ± 10 В, 0/4–20 мА
Модулі спеціального призначення	Лічильники, позиціонування, PID-регулятори, технологічні модулі
Комунікаційні інтерфейси	MPI, PROFIBUS DP, PROFINET (через модулі)
Підтримувані мережі	Промислові мережі автоматизації
Мови програмування	LAD, FBD, STL (відповідно до IEC 61131-3)
Середовище програмування	STEP 7
Монтаж	На DIN-рейку
Температура експлуатації	0...+60 °C
Ступінь захисту	IP20
Стійкість до завад	Висока, промислове виконання
Діагностика	Вбудована апаратна та програмна
Галузі застосування	АСКТП, енергетика, машинобудування, хімічна та харчова промисловість

Аналоговий модуль розширення входів/виходів

Модуль SIEMENS SIMATIC SM 332 AI4/AO2 (4 аналогові входи / 2 аналогові виходи) (Рис.4.3.) належить до сімейства модулів вводу-виводу аналогових сигналів для ПЛК SIMATIC S7-300 і призначений для перетворення неперервних технологічних величин у цифрову форму (вхідні канали) та формування керувальних аналогових сигналів для зовнішніх об'єктів (вихідні канали). У структурі автоматизованої системи керування даний модуль виконує роль інтерфейсу між «польовим» рівнем вимірювальних перетворювачів і

виконавчих пристроїв та обчислювальним ядром ПЛК, забезпечуючи метрологічно коректне зчитування параметрів процесу (тиск, температура, рівень, витрата, концентрація тощо) і, водночас, відтворення заданих регулюючих впливів у стандартизованих промислових форматах (наприклад, струмові та напругові сигнали керування).



Рис. 4.3. Модуль вводу-виводу дискретних сигналів

З позицій функціональної архітектури модуль є багатоканальним перетворювальним пристроєм змішаного типу, який інтегрує в одному корпусі як аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) для каналів АІ, так і цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) для каналів АО. Для входних сигналів застосовується послідовність операцій «аналогове узгодження - фільтрація/демодуляція (за потреби) - АЦП - цифрова обробка та масштабування - передавання значення в системні області пам'яті ПЛК». Для вихідних сигналів, навпаки, реалізується

ланцюг «задане цифрове значення з програми - масштабування/обмеження - ЦАП - вихідний підсилювальний каскад - формування струму або напруги на клеммах». Саме ця двонапрямна перетворювальна функція дозволяє використовувати SM 332 AI4/AO2 як компактний модуль для локальних контурів регулювання, де в межах одного ПЛК-вузла необхідно одночасно знімати кілька аналогових вимірювань і формувати один-два керуючі впливи, наприклад на регулюючий клапан, частотний перетворювач або позиціонер.

Канали аналогового вводу в типових промислових застосуваннях підтримують стандартні діапазони напруги та струму, що забезпечує сумісність із більшістю датчиків і вторинних перетворювачів. У практичному сенсі це означає можливість підключення датчиків тиску, рівня або витрати з виходом 4–20 мА (як найстійкішого до завад інтерфейсу), а також перетворювачів із виходом 0–10 В чи ± 10 В у системах, де переважають напругові інтерфейси. Вихідні канали, своєю чергою, формують керувальні аналогові сигнали тих самих промислових стандартів, що дозволяє безпосередньо керувати виконавчими механізмами або задавати аналоговий уставковий сигнал для приводів і регуляторів. Принципово важливо, що для кожного каналу в конфігурації ПЛК задається тип сигналу, діапазон вимірювання/видачі, формат представлення даних і параметри обробки, що перетворює модуль із «універсального перетворювача» на строго визначений за метрологією вузол вимірювання або керування.

З погляду точності та відтворюваності сигналів ключовими поняттями для такого модуля є роздільна здатність, похибка та час перетворення. Роздільна здатність визначає мінімальний крок дискретизації неперервного сигналу: чим вона вища, тим точніше модуль «бачить» малу зміну технологічної величини та тим тонкіше може відтворити керувальний вплив на виході. Похибка характеризує відхилення реального виміряного/встановленого значення від істинного, включаючи складові зміщення, нелінійності та температурної нестабільності. Час перетворення (і пов'язаний із ним час оновлення каналів) визначає динамічні можливості системи: у швидкоплинних процесах

(наприклад, контури тиску або витрати) важливо, щоб модуль забезпечував достатню частоту оновлення, аби регулятор отримував актуальні дані й встигав формувати коректний вплив. На інженерному рівні ці параметри узгоджують із часовими характеристиками об'єкта керування, періодом циклу програми ПЛК і налаштуваннями фільтрації, оскільки надмірне згладжування зменшує вплив шумів, але водночас погіршує швидкодію контуру.

Важливою складовою промислової придатності SM 332 AI4/AO2 є наявність засобів діагностики та контролю справності каналів. У реальних умовах експлуатації аналогові лінії піддаються впливу електромагнітних завад, можливі обриви, короткі замикання, помилки підключення, вихід сигналу за фізично можливі межі, деградація датчика чи виконавчого механізму. Тому модуль, як правило, підтримує виявлення нештатних станів та формування діагностичних повідомлень у систему ПЛК з подальшим відображенням на панелі оператора або в SCADA. Для струмових петель особливо значущим є контроль обриву лінії та виходу сигналу за допустимий діапазон, оскільки 4–20 мА технологічно допускає використання «нижнього рівня» як маркера аварії (наприклад, значення нижче 4 мА часто інтерпретують як обрив або несправність перетворювача). Для вихідних каналів актуальними є режими обмеження та реакції на помилку: у випадку відмови або переходу системи в аварійний стан часто передбачають встановлення безпечного вихідного значення (наприклад, закриття клапана або зниження подачі) чи утримання останнього коректного значення, що визначається вимогами технологічної безпеки.

Інтеграція модуля в систему S7-300 здійснюється через задню шину (backplane bus) станції, де модуль займає позицію в рамі та обмінюється даними з CPU у формалізованому вигляді. Дані аналогових входів потрапляють у пам'ять ПЛК як числові коди, що відповідають заданому діапазону; далі в програмі вони підлягають масштабуванню в інженерні одиниці (°C, бар, %, м³/год тощо), лінеаризації (за потреби) та фільтрації. Аналогові виходи, навпаки, отримують із програми числові значення у внутрішньому форматі,

після чого модуль відтворює відповідну напругу або струм на клеммах. Така модель потребує коректного параметрування в середовищі конфігурування (наприклад, STEP 7): задаються типи каналів, діапазони, часові параметри, поведінка при діагностичних подіях, адресація процесних даних і режим оновлення. У науково-інженерному сенсі це є важливим, оскільки переносить частину «якості вимірювання» з апаратного рівня на рівень правильної конфігурації та алгоритмів обробки.

Табл.4.3.

Технічні характеристики

Параметр	Характеристика
Тип модуля	Аналоговий модуль вводу/виводу сигналів
Серія	SIMATIC S7-300
Каталожне позначення	SM 332 AI4/AO2
Функціональне призначення	Прийом аналогових сигналів із польових датчиків і формування аналогових вихідних сигналів для виконавчих пристроїв
Кількість аналогових входів (AI)	4 канали
Кількість аналогових виходів (AO)	2 канали
Підтримувані типи вхідних сигналів	± 10 В, 0–10 В, 0/4–20 мА (залежить від конфігурації)
Підтримувані типи вихідних сигналів	0–10 В, 0/4–20 мА (залежить від конфігурації)
Роздільна здатність	Висока (кількість біт АЦП/ЦАП відповідає вимогам промислового вимірювання – десятки тисяч кодів)
Точність вимірювання	Відповідно до стандартних специфікацій SIEMENS для аналогових модулів (з урахуванням похибок перетворення)
Час перетворення	Залежить від налаштувань фільтрації й конфігурації каналів
Масштабування вхідних даних	Підтримується з урахуванням вибраного діапазону
Лінеаризація	Опційно доступна (за типом передавача)
Діагностика каналів	Виявлення обриву, перевантаження, вихід за межі сигналу
Комунікація з CPU	Через локальну шину S7-300
Адресація каналів	Коди процесних даних у пам'яті ПЛК
Монтаж	DIN-рейка в шафі керування
Робоча напруга живлення	5 В (системна шина ПЛК), опосередковано 24 В DC для польових пристроїв
Температура експлуатації	$\sim 0 \dots +60$ °C (промисловий діапазон)
Ступінь захисту корпусу	IP20
Споживана потужність	Залежить від конфігурації і кількості активних каналів
Сумісність	Взаємодіє з усіма CPU серії S7-300, що підтримують аналогові модулі
Типи підключення датчиків/виходів	Стандартні клеми для сигналів 0–10 В / 0/4–20 мА
Програмна підтримка	Конфігурація та масштабування через STEP 7 (TIA Portal у

	сумісних версіях)
Застосування	Автоматичні контури регулювання, вимірювання технологічних параметрів, формування аналогових керуючих сигналів

Дискретний модуль розширення входів/виходів

Модуль SIEMENS SIMATIC SM 323 16DI/16DO (Рис.4.4.) належить до групи комбінованих модулів вводу-виводу дискретних сигналів для ПЛК сімейства SIMATIC S7-300 і призначений для безпосередньої взаємодії мікропроцесорної системи керування з двійковими (логічними) сигналами польового рівня. За функціональним призначенням цей компонент виконує роль апаратного інтерфейсу, що з одного боку забезпечує приймання інформації від дискретних датчиків і комутаційних елементів (кінцевих вимикачів, кнопок, датчиків положення, реле тиску/рівня, сигналізаторів аварійних станів тощо), а з іншого - формує керувальні дискретні вихідні сигнали для виконавчих пристроїв (котушок контакторів і проміжних реле, електромагнітних клапанів, сигналізаційних ламп, звукових сповіщувачів, пускачів, соленоїдів). Комбінована структура «16DI/16DO» забезпечує одночасно два канали інформаційного обміну різного напрямку, що дозволяє зменшити кількість модулів у станції, оптимізувати компоновку шафи керування та спростити монтажні рішення при побудові систем дискретної автоматизації.



Рис. 4.4. Модуль вводу-виводу дискретних сигналів

З позицій системної архітектури S7-300 модуль SM 323 інтегрується у станцію через задню шину (backplane bus), за допомогою якої здійснюється адресація каналів, передавання процесних даних до/від CPU, а також обмін службовими повідомленнями діагностики. Логіка роботи дискретного вводу/виводу в ПЛК реалізується через поняття «образу процесу» (process image): стани входів періодично зчитуються та фіксуються у внутрішній пам'яті контролера, після чого програма користувача обчислює керувальні рішення і формує вихідні стани, які записуються у вихідний образ і надалі відтворюються апаратною частиною модуля на фізичних клемах. Такий принцип забезпечує детермінованість виконання алгоритмів, спрощує синхронізацію дискретних подій із циклом програми і підвищує прогнозованість часової поведінки системи керування.

Вхідна частина модуля (16DI) призначена для приймання дискретних сигналів, які в промислових системах найчастіше реалізуються за стандартом 24 В постійного струму. На фізичному рівні кожний вхідний канал виконує

перетворення «електричний стан лінії - логічний стан 0/1» із забезпеченням завадостійкості та електричного узгодження. Для цього застосовуються вхідні каскади з обмеженням струму, фільтрацією короточасних імпульсних перешкод, а також елементи гальванічної розв'язки або внутрішнього захисту, що зменшує вплив наведень і знижує ймовірність пошкодження електроніки контролера при нештатних режимах у польовій проводці. У науково-інженерному розумінні дискретний вхід є пороговим перетворювачем із гістерезисом, який відділяє «логічний нуль» від «логічної одиниці» за рівнем напруги/струму та пригнічує вплив шумів у зоні невизначеності. Практично це забезпечує надійне розпізнавання станів механічних контактів, напівпровідникових датчиків типу PNP/NPN (залежно від схеми включення) і виходів релейних сигналізаторів, що є типовими джерелами дискретних сигналів у промисловості.

Вихідна частина модуля (16DO) реалізує функцію електронної комутації навантажень відповідно до команд CPU. У промислових виконаннях SM 323 дискретні виходи, як правило, виконуються або на транзисторних ключах (для швидкодіючої комутації постійного струму та високої циклічності), або на релейних контактах (для універсальнішої комутації, у тому числі змінного струму, але з меншою швидкодією та обмеженим ресурсом контактів). У будь-якому разі вихідний канал можна розглядати як керований ключ, що переводить навантаження у стан «увімкнено/вимкнено» та повинен забезпечувати електричну міцність, допустимий струм навантаження і стійкість до перенапруг, які виникають під час комутації індуктивних елементів (катушки контакторів, клапани, реле). З огляду на це в промислових системах обов'язково застосовують засоби придушення перенапруг (діоди вільного ходу для DC-катушок, RC-ланцюги або варистори для AC-навантажень), що зменшує електромагнітні завади, підвищує ресурс вихідних ключів і запобігає хибним спрацюванням суміжних каналів.

Однією з принципових експлуатаційних характеристик дискретного

модуля є його часові параметри, тобто затримка реакції входів і виходів, а також узгодження цих затримок із циклом виконання програми CPU. Вхідні канали можуть мати вбудовану апаратну фільтрацію (антидребезг) для контактних сигналів, що усуває багаторазові короткі імпульси при механічному замиканні/розмиканні контактів. Вихідні канали, своєю чергою, характеризуються часом вмикання/вимикання ключа та, у випадку релейних виходів, механічною інерційністю контактної групи. У системному проєктуванні ці ефекти враховують при синтезі алгоритмів: для швидких дискретних подій доцільні транзисторні виходи та використання переривань/апаратних механізмів, тоді як для повільних процесів (пуск/зупинка насосів, перемикання заслінок, аварійна сигналізація) часові затримки є несуттєвими. Важливою рисою модуля SM 323 є організація каналів за групами із загальними потенціалами живлення та повернення струму, що визначає правила польового підключення. Дискретні входи зазвичай мають спільні клеми (common) для групи каналів, до яких підводиться «опорний» потенціал (0 В або +24 В залежно від типу схеми та застосованих датчиків). Аналогічно, виходи можуть бути згруповані за спільним живленням навантажень, що дозволяє логічно структурувати проводку (наприклад, окремі групи для аварійної сигналізації, для пускових ланцюгів, для допоміжних механізмів) і підвищити селективність захисту. Така групова структура має інженерні наслідки: при проєктуванні необхідно правильно розвести «плюсові» та «мінусові» шини, забезпечити розділення силових і сигнальних ланцюгів, мінімізувати петлі струмів і вплив індуктивних наведень, а також коректно організувати заземлення та екранування кабелів, якщо модуль працює в середовищі з інтенсивними електромагнітними завадами. Окремого значення набувають діагностичні та сервісні можливості дискретних модулів. У промислових системах важливо не лише виконувати керування, а й своєчасно виявляти відмови: обриви провідників, короткі замикання у вихідних колах, перевантаження каналів, помилки живлення груп, невідповідність конфігурації або відсутність модуля

в станції. Залежно від конкретного виконання SM 323 може забезпечувати індикацію станів каналів (LED для входів і виходів), що дозволяє виконувати первинну локалізацію несправностей без складних вимірювань, а також передавання діагностичних повідомлень у CPU для подальшого відображення в SCADA чи на панелі оператора. В науково-практичному аспекті такі механізми підвищують відмовостійкість системи, скорочують час простою обладнання та зменшують витрати на технічне обслуговування.

Табл.4.4.

Технічні характеристики

Параметр	Характеристика
Тип модуля	Комбінований модуль дискретного вводу-виводу
Серія ПЛК	SIMATIC S7-300
Позначення модуля	SM 323
Конфігурація каналів	16 дискретних входів (DI) / 16 дискретних виходів (DO)
Призначення	Прийом та формування двійкових сигналів у системах промислової автоматизації
Номінальна напруга входів	24 В DC
Тип дискретних входів	Струмові, з пороговим розпізнаванням логічних рівнів
Номінальна напруга виходів	24 В DC
Тип дискретних виходів	Транзисторні або релейні (залежно від виконання)
Максимальний струм навантаження на канал	До 0,5 А (залежно від типу виходу)
Групування каналів	Входи та виходи згруповані з загальними клемами живлення
Час спрацювання входів	Кілька мілісекунд (із урахуванням фільтрації)
Час спрацювання виходів	Одиниці мілісекунд (для транзисторних), більший для релейних
Захист виходів	Від короткого замикання та перевантаження (залежно від виконання)
Індикація станів	Світлодіодна індикація стану кожного каналу
Діагностичні функції	Контроль стану модуля та каналів, передавання діагностики в CPU
Адресація каналів	Через образ процесу ПЛК
Комунікація з CPU	Через задню шину S7-300 (backplane bus)
Живлення модуля	Від системної шини ПЛК
Монтаж	На DIN-рейку
Робоче положення	Вертикальне
Температурний діапазон експлуатації	0...+60 °C
Ступінь захисту корпусу	IP20
Стійкість до завад	Промислове виконання, висока ЕМС-стійкість
Сумісність	CPU серії SIMATIC S7-300
Типові сфери застосування	Котельні, насосні станції, машинобудування, транспортні та виробничі лінії

Панель оператора

SIMATIC KTP1000 Basic

SIMATIC KTP1000 Basic (Рис.4.5.) - це операторська панель людино-машинного інтерфейсу (HMI) початкового рівня, призначена для візуалізації, параметрування та оперативного керування технологічними об'єктами в складі автоматизованих систем керування на базі контролерів Siemens SIMATIC, зокрема серій S7-1200/S7-300/S7-400 та сумісних мережевих вузлів. За своєю функціональною природою KTP1000 Basic є вбудованим спеціалізованим обчислювальним пристроєм реального часу, що реалізує двосторонній інформаційний обмін між оператором і програмованим логічним контролером: з одного боку панель відображає поточні технологічні параметри (стани, виміряні величини, аварійні повідомлення, тренди), а з іншого забезпечує введення операторських команд і технологічних уставок (setpoints), вибір режимів роботи, квітування аварій та ініціювання сервісних процедур. Важливою ознакою виконання «КТР» є комбінована ергономіка керування - панель поєднує сенсорний екран (touch) і апаратні клавіші (key), що підвищує надійність взаємодії в умовах промислової експлуатації: сенсорний ввід забезпечує інтуїтивну навігацію по екранах та введення значень, а клавіші використовуються для швидких, повторюваних команд або функціональних дій, критичних до часу реакції.

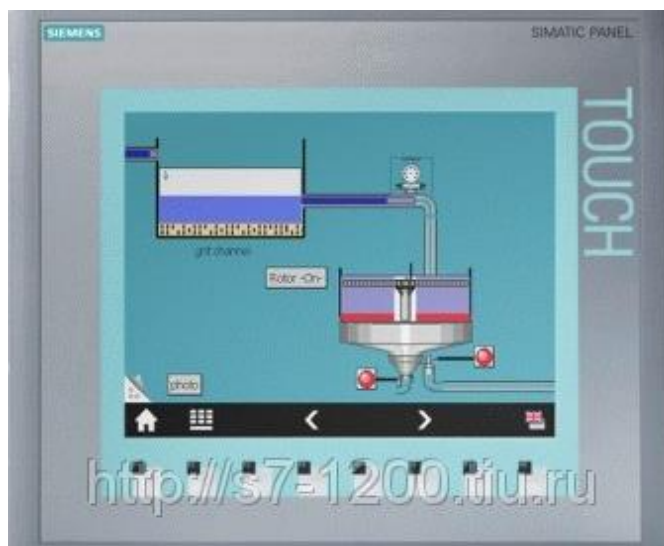


Рис. 4.5. Головна панель оператора

З погляду апаратної частини SIMATIC KTP1000 Basic оснащується кольоровим TFT-дисплеєм діагоналлю 10,4" із відображенням 256 кольорів та роздільною здатністю 640×480 пікселів, що визначає клас інтерфейсу як достатній для типових задач «машинної» візуалізації: відображення мнемосхем, табличних параметрів, повідомлень та простих графічних елементів. Панель підтримує сенсорне керування, а також має 8 функціональних клавiш; введення числових і текстових значень забезпечується екранною клавіатурою. Зазвичай KTP1000 Basic інтегрується в двері шафи керування або фронтальну панель пульта, а її конструкція орієнтована на вертикальний монтаж у ландшафтній (горизонтальній) орієнтації, що узгоджується з типовою компоновкою НМІ на промислових об'єктах.

Енергетична частина панелі реалізована для живлення від джерела постійної напруги 24 V DC, що є промисловим стандартом для систем автоматизації. Живлення в діапазоні 19,2...28,8 V DC забезпечує стійкість до допустимих коливань напруги у вторинних колах, а типове споживання потужності на рівні близько 15 W і струм споживання близько 0,6 А дозволяють раціонально планувати баланс потужності шафи керування. Обчислювальна платформа панелі базується на 32-бітному RISC-процесорі, а доступна пам'ять для користувацьких даних становить орієнтовно 2 МВ, що

визначає характерне позиціонування KTP1000 Basic як НМІ для невеликих і середніх задач із обмеженим обсягом архівування та кількістю об'єктів екрана.

З позиції програмно-функціональних можливостей KTP1000 Basic забезпечує реалізацію стандартного набору НМІ-функцій: відображення процесних значень, введення уставок, систему повідомлень і аварій (із буферизацією та квітуванням), керування рецептами, а також обмежений набір трендових подань. Для типових проектів доступні параметри, що визначають масштаб прикладної візуалізації: орієнтовно до 500 змінних (тегів) на пристрій, до 50 екранів у проекті, обмеження на кількість об'єктів на екрані та кількість складних вікон (наприклад, вікно повідомлень або трендів), що стимулює інженера будувати компактну ієрархію екранів та оптимізувати структуру проекту. Рецептне керування, характерне для технологій дозування, змішування або налаштування режимів, реалізоване у вигляді внутрішньої пам'яті рецептів і визначеної кількості рецептів/записів, що достатньо для невеликих технологічних установок та машинобудівних застосувань. Комунікаційна інтеграція панелі з контролером залежить від модифікації: найпоширенішими є виконання з інтерфейсом PROFINET (Industrial Ethernet) або з інтерфейсом MPI/PROFIBUS DP. Вибір інтерфейсу безпосередньо визначає топологію мережі, швидкість і методи обміну, а також сумісність із конкретними CPU та мережевими сегментами підприємства. Конфігурування та розроблення проектів візуалізації виконується в середовищах WinCC flexible або у складі TIA Portal (WinCC Basic), що забезпечує стандартний для Siemens підхід до інженерії: створення екранів, змінних, сценаріїв повідомлень, елементів керування, зв'язків із PLC-адресами та налаштувань доступу користувачів. Для експлуатації панель підтримує базові механізми резервного копіювання/відновлення проекту вручну, симуляцію (на рівні інструментів інженерії) та налаштування прав доступу користувачів, що важливо для дисципліни керування та мінімізації помилок оператора.

Табл.4.5.

Технічні характеристики

Параметр	Значення / опис
Тип пристрою	Операторська панель HMI (Basic Panel), комбіноване керування Key/Touch
Дисплей	TFT, кольоровий
Діагональ екрана	10,4"
Кількість кольорів	256
Роздільна здатність	640 × 480 пікселів
Підсвічування	MTBF орієнтовно 50 000 год (за 25 °C)
Сенсорне керування	Так
Функціональні клавіші	8
Введення даних	Екранна клавіатура (числова та алфавітно-цифрова)
Живлення	24 V DC
Діапазон живлення	19,2...28,8 V DC
Споживаний струм	≈ 0,6 A (номінально)
Типова споживана потужність	≈ 15 W
Процесор	32-бітний RISC
Пам'ять для користувацьких даних	≈ 2 MB
Кількість змінних (тегів)	до ~500 на пристрій
Кількість екранів	до ~50 на проект
Система повідомлень	підтримується (квітування, буфер повідомлень)
Рецептурне керування	підтримується; внутрішня пам'ять рецептів ~40 kB (типово)
Комунікаційні інтерфейси	залежить від версії: PROFINET (Ethernet) або MPI/PROFIBUS DP
Програмування/конфігурування	WinCC flexible; TIA Portal (WinCC Basic)
Монтаж	Панельний (у виріз дверей/панелі шафи), типово вертикально, ландшафтна орієнтація
Акустична індикація	Вбудований бузер (звуковий сигнал)
Типові застосування	Машини та невеликі технологічні установки: індикація, уставки, аварії, прості рецепти

4.2. Розробка електричної принципової схеми системи керування

Електрична принципова схема відображає структурно-функціональну організацію автоматизованої системи керування, побудованої на базі програмованого логічного контролера Siemens SIMATIC S7-300, і демонструє взаємодію джерел живлення, засобів обчислення та керування, модулів введення-виведення, операторського інтерфейсу, датчиків і виконавчих механізмів. Схема реалізує класичну ієрархію промислової

автоматизації з чітким поділом на рівень енергоживлення, рівень керування, рівень введення-виведення та польовий рівень.

Схема електрична принципова представлена на рис. 4.6.

Енергетичну основу системи формує блок живлення Siemens PS 307, який здійснює перетворення напруги промислової мережі змінного струму у стабілізовану напругу постійного струму 24 В. Сформована низьковольтна шина живлення використовується для живлення центрального процесорного модуля ПЛК, панелі оператора, модулів введення-виведення, дискретних і аналогових датчиків, а також ланцюгів керування виконавчими механізмами. Централізоване живлення від одного джерела забезпечує узгодженість потенціалів, підвищує електромагнітну сумісність елементів та спрощує контроль енергетичного балансу шафи керування.

Центральним елементом системи є програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-317-2 PN, який виконує функції збору технологічної інформації, логічної та алгоритмічної обробки сигналів і формування керуючих впливів відповідно до закладеної програми. Контролер взаємодіє з операторською панеллю SIMATIC TP1000 Basic Color DP через інтерфейс MPI, що забезпечує двосторонній обмін даними між рівнем керування і рівнем людино-машинного інтерфейсу. Завдяки цьому оператор має можливість візуально контролювати стан технологічного процесу, переглядати поточні значення параметрів, отримувати аварійні повідомлення, а також задавати уставки та режими роботи системи.

Збір інформації з аналогових датчиків тиску реалізується за допомогою модуля введення-виведення аналогових сигналів Siemens, який містить аналого-цифрові перетворювачі. Аналогові сигнали стандартного промислового діапазону надходять на входи модуля, де перетворюються у цифровий код, придатний для подальшої обробки центральним процесором ПЛК. Це дозволяє здійснювати безперервний контроль технологічних параметрів із заданою точністю та швидкодією, що є необхідною умовою для реалізації контурів автоматичного регулювання.

Дискретні датчики рівня води підключені до модуля введення-виведення дискретних сигналів Siemens, який забезпечує приймання двійкових сигналів від польових пристроїв і перетворення їх у логічні стани внутрішньої пам'яті ПЛК. Зчитування дискретних сигналів відбувається циклічно, відповідно до алгоритму роботи контролера, що гарантує своєчасне виявлення змін стану датчиків і формування адекватної реакції системи керування.

Формування керуючих сигналів здійснюється ПЛК шляхом передачі адресних команд по внутрішній шині на відповідні вихідні канали модулів введення-виведення аналогових і дискретних сигналів. Аналогові виходи використовуються для формування неперервних керуючих впливів, тоді як дискретні виходи забезпечують комутацію виконавчих механізмів у режимах «увімкнено/вимкнено». Безпосереднє підключення потужних навантажень до виходів ПЛК не допускається, тому в схемі передбачено проміжні підсилювальні та захисні елементи.

Запуск компресорів подачі повітря та газу реалізовано через оптопари, які виконують функцію гальванічної розв'язки та електричного підсилення керуючих сигналів. Оптопари забезпечують ізоляцію низьковольтних кіл керування ПЛК від силових ланцюгів, що знижує вплив електромагнітних завад і підвищує електробезпеку системи. Після оптронної розв'язки сигнал подається на котушки відповідних реле, які здійснюють комутацію силових ланцюгів компресорів. Така структура дозволяє надійно керувати електромеханічними пристроями з високими струмами навантаження, зберігаючи ресурс вихідних елементів ПЛК.

5. АЛГОРИТМ ТА ПРОГРАМНА

5.1. Алгоритм роботи системи

Алгоритм функціонування автоматизованої системи керування паро-котельною установкою відображає логічну послідовність дій контролера під час пуску, нормальної експлуатації та реагування на аварійні ситуації й відповідає вимогам безпечної та стабільної роботи теплотехнічного обладнання. Алгоритм реалізує поетапний контроль дискретних і аналогових параметрів технологічного процесу та формування керуючих впливів на виконавчі механізми відповідно до поточного стану системи.

Алгоритм роботи системи керування представлено на рис. 5.1.

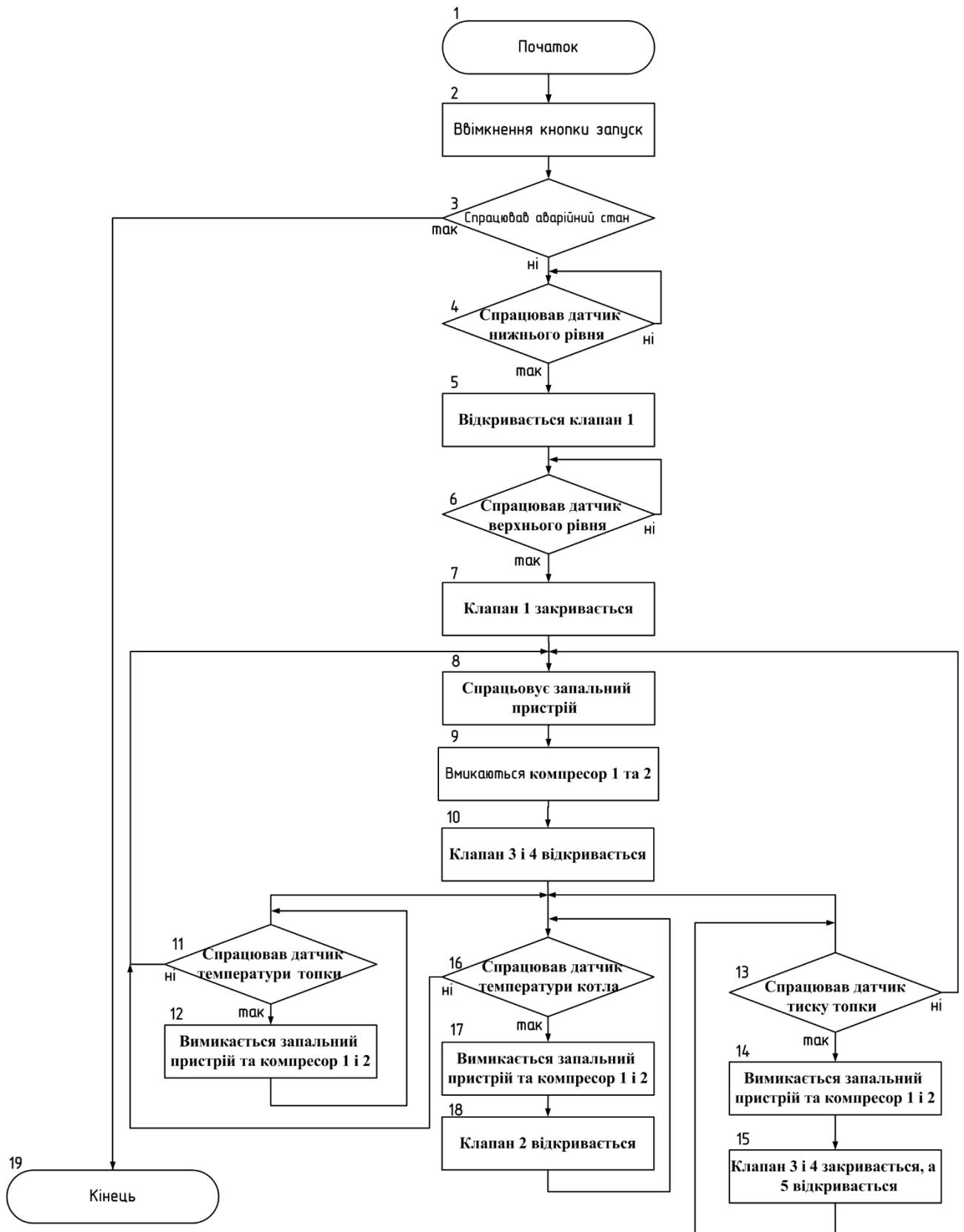


Рис. 5.1. Алгоритм роботи системи керування

Після ініціації роботи котельні та подачі команди «Пуск» відбувається первинне опитування дискретних датчиків верхнього і нижнього рівнів води в котлі. Цей етап забезпечує визначення початкового стану резервуара. У разі спрацювання датчика нижнього рівня контролер інтерпретує стан як недостатній рівень води в котлі. За такої умови відкривається клапан подачі води (клапан 1), і процес наповнення котла триває доти, доки не буде досягнуто рівня, що відповідає спрацюванню датчика верхнього рівня. Після досягнення заданого рівня клапан 1 автоматично закривається, що унеможливорює переповнення котла та створює необхідні умови для подальших етапів роботи.

Паралельно з процесом підготовки водяного контуру під час запуску системи активується робота обох компресорів, а також відкриваються клапани 3 і 4, які забезпечують подачу газу та повітря в топку, і вмикається запальний пристрій. Одночасне керування клапанами 3 і 4 обумовлене необхідністю підтримання стехіометрично правильного співвідношення паливної суміші, що є критичним чинником для стабільного й ефективного процесу горіння. Увімкнення компресорів здійснюється з часовою затримкою після відкриття відповідних клапанів, що запобігає гідро- та аеродинамічним ударам у системі подачі та підвищує надійність обладнання.

У процесі роботи постійно здійснюється контроль сигналів від датчиків тиску та температури як у топці, так і в котлі. У разі спрацювання будь-якого з цих датчиків, що свідчить про перевищення допустимих технологічних меж, система негайно переходить у захисний режим. За такого сценарію відбувається автоматичне відключення обох компресорів, закриття клапанів 3 і 4 та вимкнення запального пристрою. Така реакція спрямована на швидке припинення процесу горіння та зниження теплового і тискового навантаження на обладнання, що є ключовою умовою запобігання аварійним ситуаціям.

Подальший алгоритм передбачає опитування аналогового датчика температури в топці. До моменту досягнення заданого температурного порога запальний пристрій залишається активним. Після фіксації досягнення необхідної температури контролер вимикає запальний пристрій, оскільки подальше підтримання горіння забезпечується стабільною подачею паливно-повітряної суміші без додаткового підпалу.

Наступним етапом є контроль температури води або пари в котлі за допомогою аналогового датчика температури. При досягненні заданого значення відкривається клапан 2, що забезпечує подачу пари до споживача. Таким чином реалізується перехід установки в робочий режим із корисним відбором теплової енергії.

Для стабілізації тиску в топці використовується аналоговий датчик тиску, сигнал якого безперервно аналізується контролером. У разі зростання тиску вище допустимого рівня відкривається клапан 5, призначений для відведення паливних газів. Це дозволяє підтримувати тиск у топці в заданих межах, забезпечуючи стабільність горіння та зменшуючи навантаження на конструктивні елементи котла.

Клапани 3 і 4 у процесі експлуатації відкриваються та закриваються синхронно, оскільки відхилення у співвідношенні газу і повітря може призвести до погіршення якості горіння або створення вибухонебезпечних умов. У разі зупинки компресорів ці клапани автоматично закриваються, що запобігає неконтрольованому надходженню паливної суміші в топку.

Алгоритм також передбачає реалізацію аварійного режиму. У випадку виникнення аварійного стану, незалежно від поточного етапу роботи, система переходить у безпечний стан: усі клапани закриваються, компресори зупиняються, запальний пристрій вимикається, а на операторській панелі та/або сигнальних пристроях активується аварійна індикація. Такий підхід забезпечує високий рівень функціональної

безпеки та відповідає вимогам до автоматизованих систем керування теплотехнічними установками.

5.2.Розробка програмного забезпечення ПЛК

STEP 7 Professional (SIMATIC STEP 7) є спеціалізованим інженерним програмним забезпеченням компанії Siemens, призначеним для повного циклу розроблення, конфігурування, налагодження та супроводу програмованих логічних контролерів сімейств SIMATIC S7-300 і S7-400, а також сумісних систем розподіленої периферії. Методологічною основою STEP 7 Professional є блоково-ієрархічна модель програмування, у межах якої алгоритми керування формалізуються як сукупність взаємопов'язаних програмних блоків: організаційних блоків, що визначають режими виконання та оброблення подій; функцій і функціональних блоків, які реалізують повторно використовувані логічні й алгоритмічні фрагменти; блоків даних, де зберігаються параметри, технологічні змінні та внутрішні стани системи. Такий підхід забезпечує структурування програмного проєкту, підвищує керованість складності та полегшує верифікацію алгоритмів. У середовищі STEP 7 реалізовано конфігурування апаратної структури ПЛК-станції: вибір і параметрування CPU, модулів введення-виведення, комунікаційних процесорів, адресації, діагностичних параметрів та режимів обміну даними. Інженерна цінність цього етапу полягає у забезпеченні відповідності програмної логіки фізичній конфігурації системи, що є необхідною умовою детермінованої роботи та відтворюваності результатів керування. STEP 7 Professional підтримує промислові мови програмування відповідно до ідеології IEC 61131-3, зокрема LAD (контактні схеми), FBD (функціональні блок-схеми) і STL (інструкційна мова), що дає змогу реалізовувати як дискретно-логічні алгоритми (послідовності, міжблокування, аварійні захисти), так і задачі неперервного регулювання (масштабування, фільтрація, ПД-контрури) з використанням стандартних бібліотек і технологічних функцій. Важливою складовою STEP 7 є розвинені засоби онлайн-діагностики та

налагодження: моніторинг станів змінних у реальному часі, примусове встановлення значень (force), трасування виконання, аналіз системних повідомлень і подій, що забезпечує інженеру можливість виявлення причин відхилень у роботі технологічного процесу та підвищує експлуатаційну надійність системи. STEP 7 Professional виступає як класичний інструмент «роздільної інженерії» для ПЛК, орієнтований на високий ступінь контролю над конфігурацією апаратури та логікою керування і широко застосовуваний у промислових системах середнього та великого масштабу.

WinCC flexible є спеціалізованим програмним середовищем для проєктування людино-машинного інтерфейсу (HMI) і створення систем візуалізації для операторських панелей SIMATIC та локальних SCADA-рішень, які взаємодіють із контролерами Siemens через промислові інтерфейси й протоколи. Функціонально WinCC flexible реалізує програмно-апаратний рівень взаємодії «оператор — технологічний процес», забезпечуючи представлення станів об'єкта керування у формі мнемосхем, екранних форм, індикаторів, повідомлень і трендів, а також надаючи інструменти для введення операторських команд, зміни уставок і квітування аварій. Науково-інженерний зміст цього продукту полягає у формалізації інформаційної моделі процесу: технологічні змінні (теги), що надходять з ПЛК, відображаються як візуальні об'єкти з визначеними властивостями, діапазонами, одиницями вимірювання та правилами інтерпретації, що забезпечує однозначність сприйняття процесу оператором і знижує ризик помилок керування. WinCC flexible підтримує побудову системи повідомлень із класифікацією за пріоритетами та типами (аварійні, попереджувальні, інформаційні), забезпечує механізми підтвердження подій, ведення журналу та часової прив'язки, що є критично важливим для аналізу причин аварій і технологічних відхилень. Крім того, у середовищі реалізуються функції рецептурного керування, які дозволяють формалізувати й зберігати набори технологічних параметрів

для різних режимів або типів продукції, а також забезпечується архівування окремих змінних і відображення їх у вигляді трендів у межах ресурсних обмежень конкретної панелі. Проєктування в WinCC flexible здійснюється у графічно-орієнтованій парадигмі, де інженер створює структуру екранів, навігацію, сценарії взаємодії та прив'язує об'єкти до тегів і подій, забезпечуючи логічну узгодженість інтерфейсу з алгоритмами керування в ПЛК. WinCC flexible є інструментом спеціалізованої HMI-інженерії, який забезпечує підвищення керованості технологічної установки, прозорість процесу для оператора та оперативне реагування на відхилення параметрів.

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) є інтегрованою інженерною платформою Siemens, що об'єднує в одному середовищі розроблення програм ПЛК, конфігурування апаратних засобів, налаштування промислових мереж і проєктування інтерфейсу оператора, реалізуючи концепцію наскрізної (end-to-end) інженерії автоматизації. На відміну від підходу, характерного для роздільних інструментів (окремо для ПЛК і окремо для HMI), TIA Portal формує єдину проєктну модель, у якій усі компоненти системи — контролери, модулі введення-виведення, мережеві вузли, панелі оператора — описуються в межах одного проєкту з узгодженою структурою даних. Ключовою перевагою такої архітектури є усунення дублювання інформації та мінімізація помилок, що виникають при ручному перенесенні адрес, тегів і параметрів між різними програмними середовищами. У TIA Portal реалізовано інтегроване програмування ПЛК (STEP 7 у складі TIA) з підтримкою сучасних методів структуризації коду, бібліотек, повторного використання блоків і централізованого керування тегами, що підвищує ефективність розроблення та полегшує масштабування проєкту. Одночасно в межах тієї ж платформи доступне середовище розроблення HMI/SCADA (WinCC у складі TIA), яке використовує спільну базу тегів і дозволяє напрямую застосовувати змінні ПЛК у візуалізації без додаткового ручного

створення зв'язків. Це забезпечує узгодженість інтерфейсу оператора з логікою керування, підвищує швидкість інженерії та сприяє стандартизації проєктних рішень. Важливою складовою TIA Portal є також розширені засоби діагностики та введення в експлуатацію: інтегровані онлайн-інструменти для контролю мереж, пристроїв, стану модулів, а також механізми системної діагностики, що спрощують пошук відмов і скорочують час простою обладнання.

На рис.5.2. наведено повну структуру дипломного проєкту.

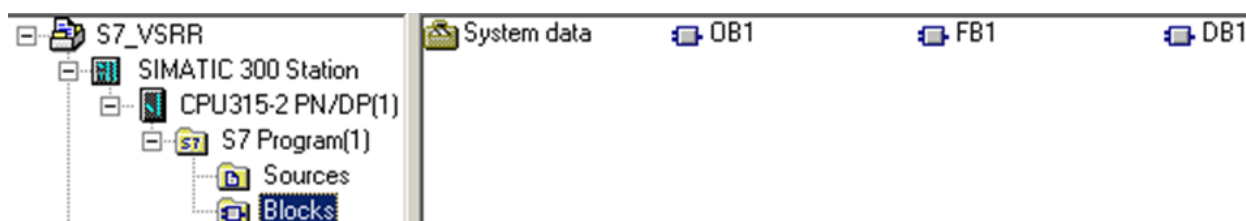


Рис. 5.2. Загальне вікно проєкту

З метою реалізації повноцінної взаємодії між операторською панеллю та програмованим логічним контролером у межах розроблюваної автоматизованої системи керування було модифіковано початкову структурно-логічну схему керування. Зокрема, до схеми введено додаткові керуючі та інформаційні змін з елементи, функціонування яких безпосередньо пов'язане з компонентами візуалізації на операторській панелі. Ці елементи реалізовані у вигляді логічних змінних, що використовуються в програмі ПЛК та відображаються у середовищі програмування у вигляді відповідних об'єктів на мнемосхемах. Для забезпечення коректної роботи інтерфейсу оператора до LAD-схем керування, наведених на рисунках 5.4–5.7, було додано низку логічних ключів і сигналів, які виконують функції команд керування, індикації станів і підтвердження аварійних повідомлень. Кожен із цих ключів пов'язаний з конкретною змінною керуючої програми, що має визначену адресу у

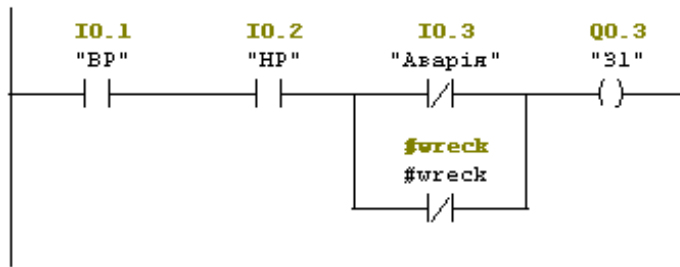
просторі введення-виведення ПЛК та відповідний логічний тип даних. Такий підхід забезпечує однозначний зв'язок між елементами графічного інтерфейсу та програмною логікою керування. Усі змінні, задіяні у взаємодії між ПЛК і візуальною панеллю, систематизовано та зведено у таблицю змінних керуючої програми, наведену на рисунку 5.3. У цій таблиці відображено найменування сигналів, їхні символічні імена, адреси у пам'яті ПЛК та типи даних, що дозволяє формалізувати інформаційний обмін між рівнем керування та рівнем візуалізації. Наявність такої таблиці спрощує процес конфігурування НМІ, забезпечує узгодженість адресації та знижує ймовірність помилок при налагодженні системи.

	Status	Symbol 	Address	Data type
1		Cycle Execution	OB 1	OB 1
2		Аварія	I 0.3	BOOL
3		Аварія out	Q 0.7	BOOL
4		ВКЛ ЗП	Q 0.2	BOOL
5		ВКЛ К1	Q 0.0	BOOL
6		ВКЛ К2	Q 0.1	BOOL
7		ВКЛ/ВИКЛ	I 0.0	BOOL
8		ВР	I 0.1	BOOL
9		Д ТИСКУ	I 0.6	BOOL
10		ДТ КОТЛА	I 0.5	BOOL
11		ДТ ТОПКИ	I 0.4	BOOL
12		З 3&4	Q 0.5	BOOL
13		31	Q 0.3	BOOL
14		32	Q 0.4	BOOL
15		35	Q 0.6	BOOL
16		НР	I 0.2	BOOL

Рис. 5.3. Змінні програми

Network 1 : Title:

Comment:



Network 2 : Title:

Comment:

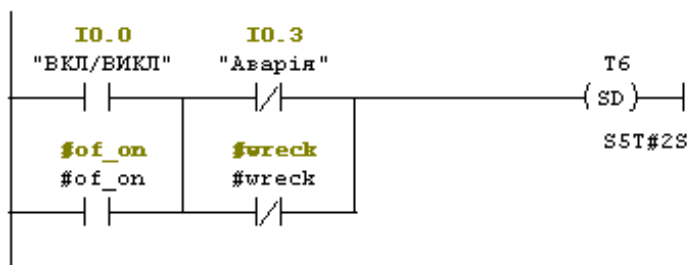
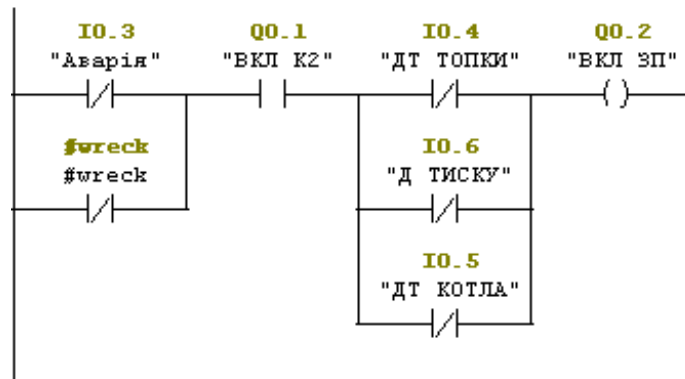


Рис. 5.4. LAD розробка проекту

Network 3 : Title:

Comment:



Network 4 : Title:

Comment:

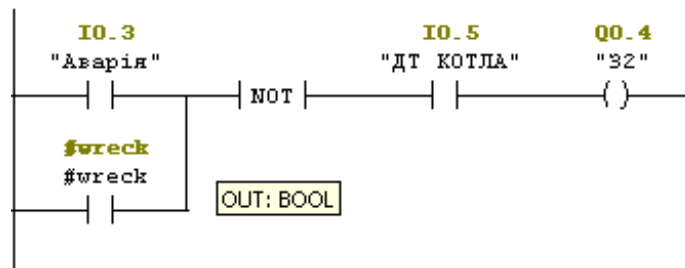


Рис. 5.5. LAD розробка проекту

Network 5 : Title:

Comment:

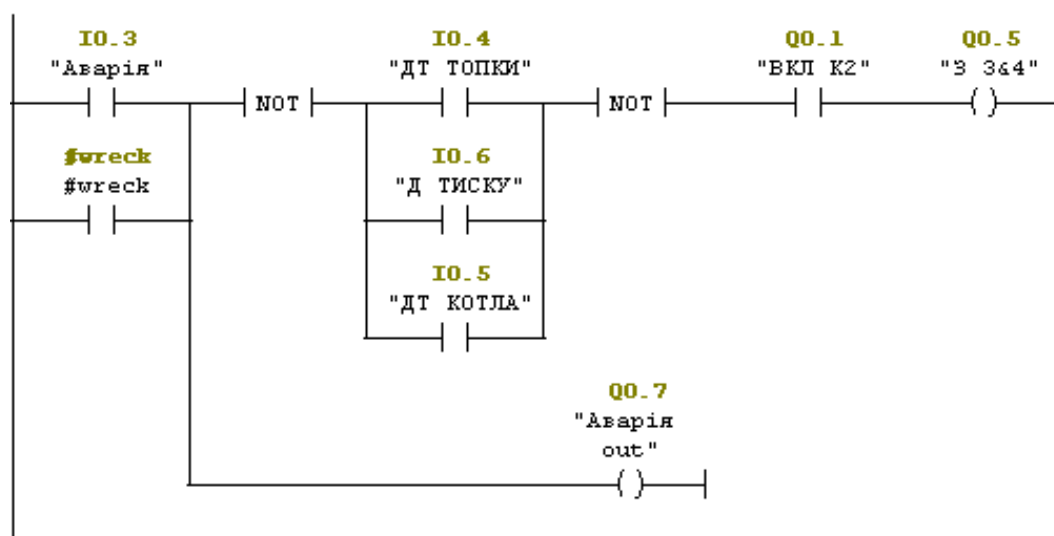
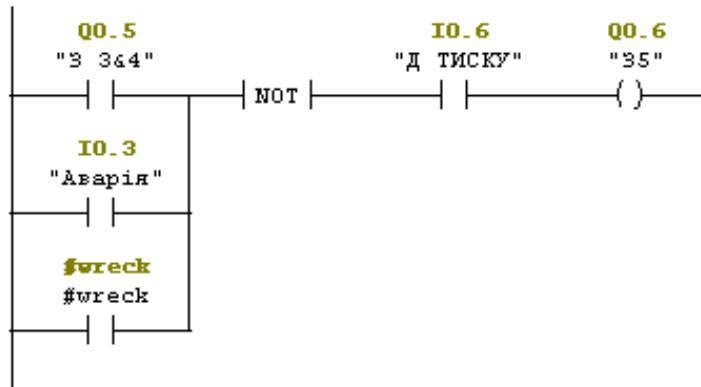


Рис. 5.6. LAD розробка проекту

Network 6 : Title:

Comment:



Network 7 : Title:

Comment:

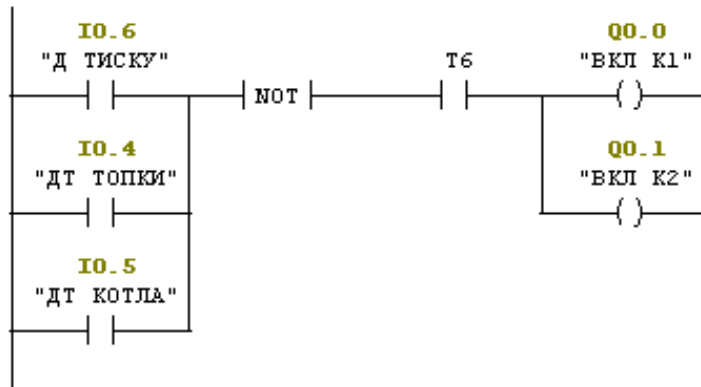


Рис. 5.7. LAD розробка проєкту

5.3. Інтерфейс

На наступному етапі розроблення автоматизованої системи керування до проєкту додається операторська панель людино-машинного інтерфейсу. Інтеграція НМІ-панелі виконується шляхом створення відповідної станції в інженерному середовищі, що реалізується командою додавання нового об'єкта типу SIMATIC HMI Station. У результаті відкривається діалогове вікно вибору типу операторської панелі, у якому інженер визначає конкретну модель пристрою з урахуванням вимог до функціональності, розміру дисплея та підтримуваних інтерфейсів зв'язку. Після вибору необхідної панелі вона включається до складу проєкту та стає доступною для подальшого

параметрування. На цьому етапі виконується налаштування мережевої взаємодії між операторською панеллю та програмованим логічним контролером. Зокрема, панель підключається до відповідної промислової шини зв'язку з використанням заданого інтерфейсу, наприклад MPI, що забезпечує коректний двосторонній обмін технологічними даними між рівнем керування та рівнем візуалізації. Установлення логічного з'єднання між станцією ПЛК та HMI-станцією дозволяє забезпечити узгодженість адресації змінних і синхронізацію об'єктів керування та індикації. Після завершення процедур додавання та підключення операторської панелі здійснюється перехід до розроблення візуальної частини програмного забезпечення. У структурі проєкту формується відповідне дерево, яке відображає наявність HMI-станції, екранів, змінних, повідомлень та інших компонентів інтерфейсу оператора. Така організація проєкту створює основу для подальшого проєктування мнемосхем, елементів керування та індикації, що забезпечують наочне представлення технологічного процесу та зручну взаємодію оператора з автоматизованою системою.

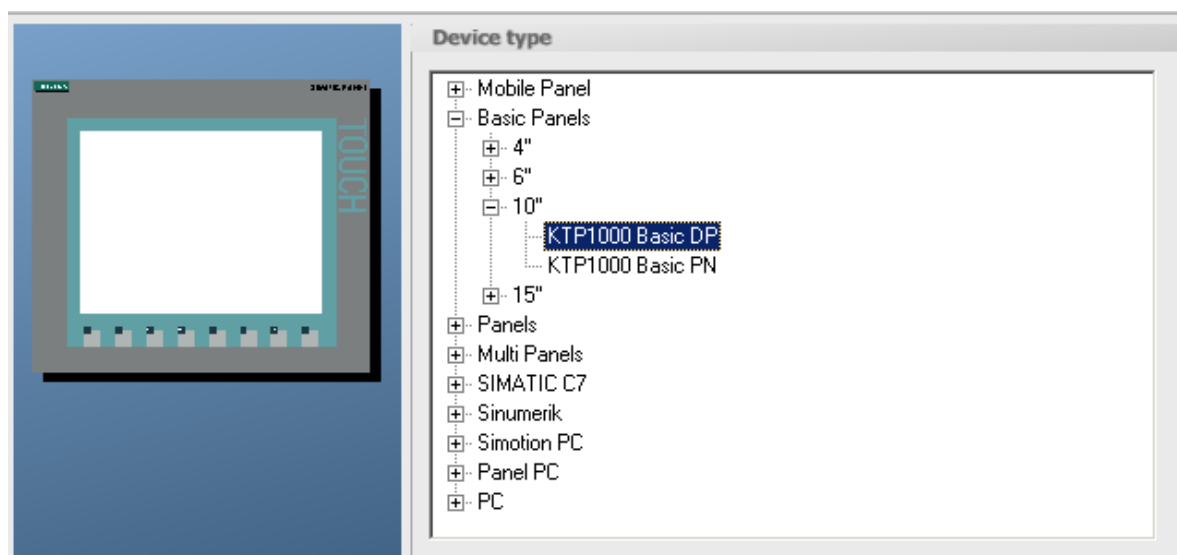


Рис. 5.8. Вибір панелі

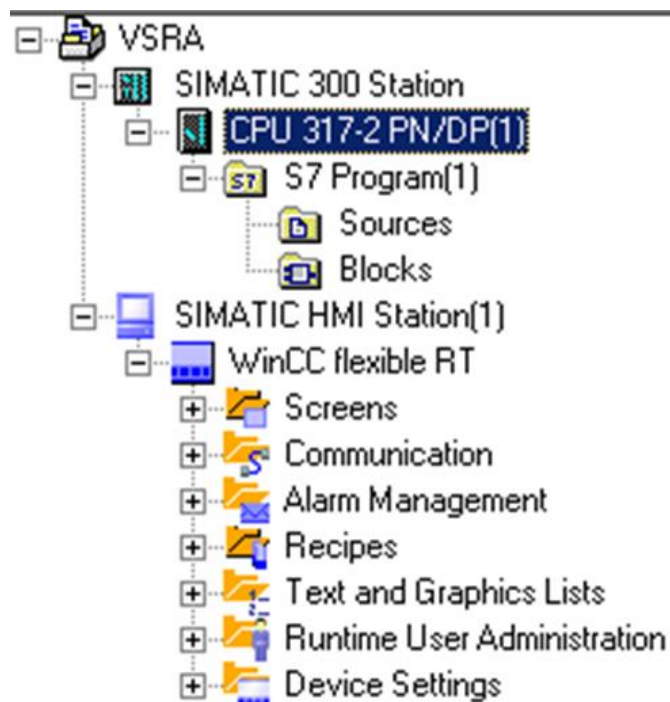


Рис. 5.10. Нова версія дерева проєкту

Візуальну панель управління зображену на рис.5.11, яка повністю узгоджується з логікою та функціональними можливостями реалізованої керуючої програми.

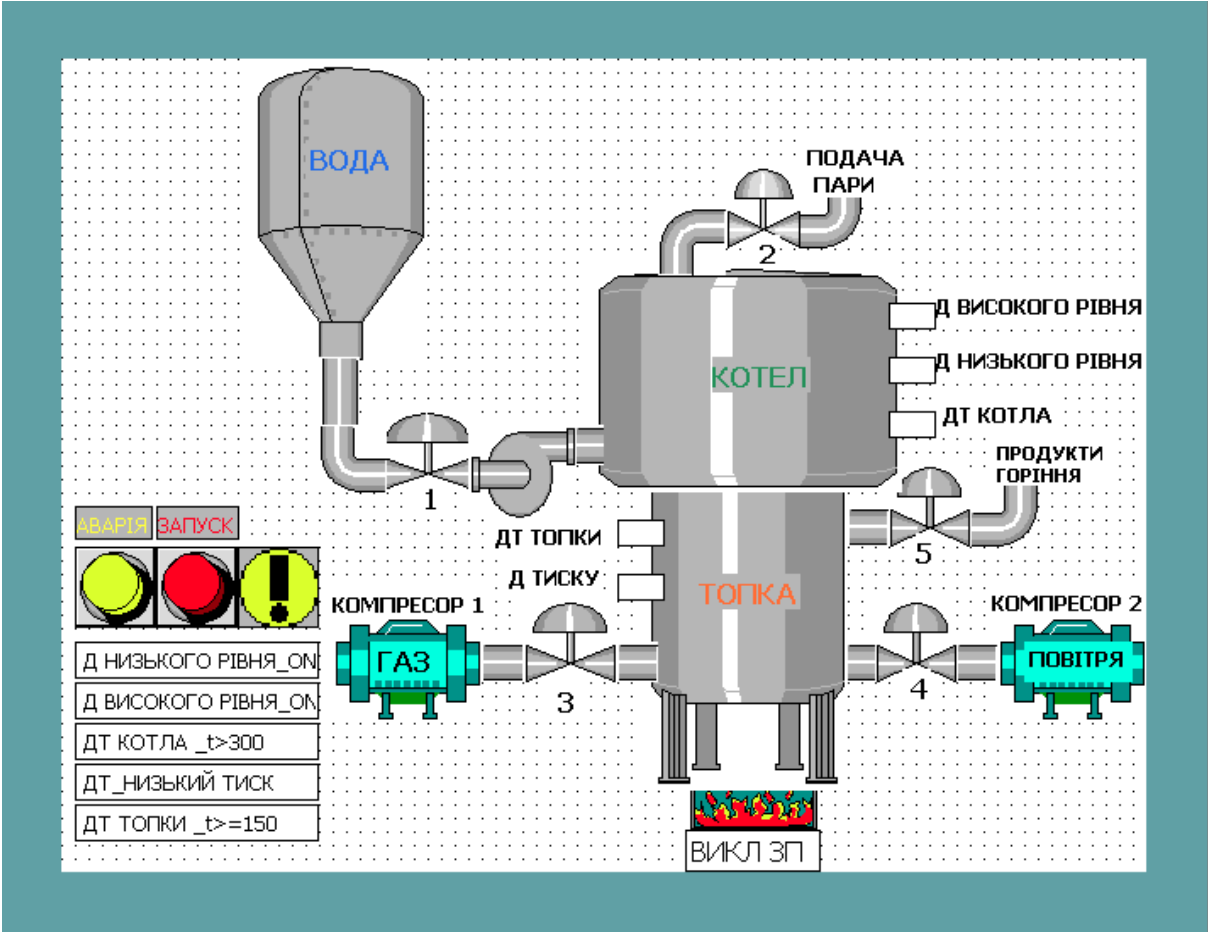


Рис. 5.11. Розроблена панель управління

Name	Connection	Data type	Symbol	Address
DB1.of_on	Connection_1	Bool	of_on	DB 1 DBX 0.0
DB1.wreck	Connection_1	Bool	wreck	DB 1 DBX 0.1
Аварія out	Connection_1	Bool	Аварія out	Q 0.7
ВКЛ ЗП	Connection_1	Bool	ВКЛ ЗП	Q 0.2
ВКЛ К1	Connection_1	Bool	ВКЛ К1	Q 0.0
ВКЛ К2	Connection_1	Bool	ВКЛ К2	Q 0.1
ВР	Connection_1	Bool	ВР	I 0.1
Д ТИСКУ	Connection_1	Bool	Д ТИСКУ	I 0.6
ДТ КОТЛА	Connection_1	Bool	ДТ КОТЛА	I 0.5
ДТ ТОПКИ	Connection_1	Bool	ДТ ТОПКИ	I 0.4
З 3&4	Connection_1	Bool	З 3&4	Q 0.5
31	Connection_1	Bool	31	Q 0.3
32	Connection_1	Bool	32	Q 0.4
35	Connection_1	Bool	35	Q 0.6
НР	Connection_1	Bool	НР	I 0.2

Рис. 5.11. Таблица НМІ

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської дипломної роботи було здійснено комплексне проектування та дослідження автоматизованої системи керування паро-котельною установкою з використанням програмованого логічного контролера. Паро-котельну установку розглянуто як складний багатопараметричний об'єкт автоматизації, для якого характерні підвищені вимоги до надійності, безпеки та стабільності підтримання технологічних режимів. У рамках роботи проведено детальний аналіз технологічного процесу генерації пари, що дозволило визначити особливості функціонування установки та основні чинники, які впливають на її ефективність і безпечну експлуатацію.

На основі виконаного аналізу було обґрунтовано вибір контрольованих і регульованих технологічних параметрів, зокрема рівня води, температури та тиску в котлі й топці, а також параметрів подачі повітря і газу. З урахуванням цих параметрів розроблено структуру автоматизованої системи керування технологічним процесом, яка забезпечує узгоджену роботу вимірювальних, обчислювальних та виконавчих компонентів. Досліджено принцип дії розробленої автоматизованої системи та побудовано її функціональну схему, що відображає логіку взаємодії між окремими підсистемами керування, контролю та захисту.

Для практичної реалізації системи було обрано сучасні датчики та виконавчі механізми, які забезпечують необхідну точність вимірювання, швидкодію та надійність регулювання технологічних параметрів. У результаті виконання роботи розроблено структурну,

функціональну та електричну принципову схеми автоматизованої системи керування, що визначають склад апаратних засобів, їх взаємозв'язок і принципи електричного з'єднання. Крім того, сформовано алгоритм функціонування системи, який описує послідовність дій контролера в нормальних і аварійних режимах роботи, а також розроблено програмне забезпечення для програмованого логічного контролера й операторського інтерфейсу.

Побудова системи керування на базі сучасної елементної та програмної бази дозволила підвищити її надійність, відмовостійкість і адаптивність до змін умов експлуатації. Запропоноване технічне рішення сприяє підвищенню ефективності роботи паро-котельної установки, збільшенню її продуктивності та стабільності технологічних режимів. Крім того, впровадження автоматизованої системи значно спрощує процес керування та моніторингу параметрів, знижує вплив людського фактора та створює передумови для подальшої модернізації і розширення функціональних можливостей системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Келім Ю. М. Електромеханічні і магнітні елементи систем автоматики. – Київ: Вища школа, 1991. – 304 с.
2. Bolton W. Programmable Logic Controllers. – 6th ed. – New York: Newnes, 2015. – 624 p.
3. Webb J. W., Reis R. A. Programmable Logic Controllers: Principles and Applications. – 6th ed. – Prentice Hall, 2014. – 592 p.
4. Siemens AG. SIMATIC S7-300 System Manual. Industry Support Siemens [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Siemens – Mode of access: <https://support.industry.siemens.com>
5. Allen-Bradley (Rockwell Automation). Programmable Controllers: Hardware & Programming. – Rockwell Automation Publication, 2020.
6. ОВЕН Україна. Контрольно-вимірювальні прилади і промислова автоматизація виробництва. [Електронний ресурс] – Mode of access: <https://owen.ua>
7. National Instruments. Introduction to Industrial Control Systems (ICS). NI White Paper, 2019 – Mode of access: <https://www.ni.com>
8. ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society. Instrumentation Reference Book. – 3rd ed. – CRC Press, 2017.
9. Бейкер Х. Дж., Джонс Д. Автоматизація технологічних процесів: основи та практика. – Київ: Наукова думка, 2018. – 412 с.
10. Хабр (Habr). Програмування ПЛК Siemens на SIMATIC STEP7 [Електронний ресурс] – Mode of access: <https://habr.com>
11. Modbus Organization. Modbus Application Protocol Specification V1.1b3. – Modbus Org., 2012 – Mode of access: <https://modbus.org>
12. IEC – International Electrotechnical Commission. IEC 61131-3: Programmable Controllers – Part 3: Programming Languages. – Geneva: IEC, 2013.